

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL
Centro de Análisis y Predicción

NOTAS DE METEOROLOGIA SINOPTICA

- 20 -

=====

DESCRIPCION DE ALGUNOS METODOS
DE PREDICCION DEL TIEMPO A
LARGO PLAZO

----- 3 MAR. 1997



Madrid, octubre de 1.966

Estas notas son de circulación limitada, exclusivamente para fines de información

DESCRIPCION DE ALGUNOS METODOS DE PREDICCION DEL TIEMPO A LARGO PLAZO (1)

<u>INDICE</u>	<u>Págs.</u>
1. Introducción	1
2. Métodos estadísticos	1
2.1. Método de Walker. 2.1.1. Manchas solares. 2.1.2. Tiempo estacional	1
2.1.3. Oscilaciones de gran escala 2.1.4. Precipitaciones en la India	2
2.2. Método de Abbot	3
2.3. Método de Schell	3
2.4. Método de Clayton	4
2.5. Estudios estadísticos aplicables a Estados Unidos	4
2.6. Método de los puntos de simetría	5
2.7. Método de las singularidades	6
2.8. Hielos polares y tiempo estacional	7
3. Métodos de las situaciones típicas. 3.1. Método de Baur	8
3.1.1. Predicciones de 5 a 10 días. 3.1.2. Predicciones estacionales	8
3.2. Tipos norteamericanos	12
4. Métodos de las analogías	12
4.1. Métodos varios de seleccionar analogías. 4.2. La técnica de Pagava-Multanovsky	12
5. Métodos combinados físico-empíricos	14
5.1. Método de Mitchell. 5	14
5.2. Métodos de la circulación media . 5.2.1. Comprensión del estado inicial de la - circulación. 5.2.2. Predicción de la circulación media	16
5.2.2.1. Métodos físicos. 5.2.2.2. Métodos de la tendencia y cinemáticos	19
5.2.3. Interpretación en términos meteorológicos	22
5.2.4. Predicción de tendencias dentro del periodo de la previsión	24
5.2.5. Notas sobre el curso de la predicción	25
5.2.6. Predicciones de 30 días	25

1. Introducción.

Los métodos de predicción del tiempo a largo plazo pueden clasificarse en tres grandes grupos:

- 1º Métodos basados principalmente en procedimientos estadísticos y poco relacionados con mapas o razonamientos físicos.
- 2º Métodos basados sobre tipos de mapas, que son primariamente empíricos y que usan sólo de modo secundario los razonamientos estadísticos y físicos.
- 3º Métodos en los que el razonamiento físico juega un importante papel, pero en los cuales el empirismo y la estadística también se emplean con bastante extensión.

2. Métodos estadísticos.

Se han cubierto gran variedad de campos incluyendo fenómenos solares, hielos polares, temperaturas de la superficie del mar, la asociación de las condiciones del tiempo en una región con el tiempo contemporáneo o siguiente en alguna otra región, la relación entre la situación meteorológica en una estación y la situación en la misma localidad pero en la estación siguiente, y muchos de otros tipos de tendencias o relaciones.

2.1. Método de Walker.

Sir Gilber Walker estudió las condiciones atmosféricas calculando numerosos coeficientes de correlación para puntos de todo el mundo y tratando primordialmente de cuatro grupos de fenómenos:

- 1º Relaciones de manchas solares con el tiempo.
- 2º Relación entre tiempos estacionales de diferentes regiones.
- 3º Las "oscilaciones de gran escala"
- 4º Precipitaciones en la India.

2.1.1. Manchas solares.

Este investigador publicó tres trabajos sobre la correlación entre el número medio de manchas solares y valores anuales contemporáneos de temperaturas, precipitaciones y presiones en numerosas estaciones de todo el mundo. Se basó sobre datos de treinta años al menos, encontrando que el número medio de manchas solares te-

(1) Extractado de Technical Report 105-93 (Air Weather Service) por Manuel Palomares Casado.

nia correlación negativa con las temperaturas superficiales en la mayoría de las estaciones, correspondiendo los valores más altos a la India y Sur de China ($-0,15$ a $-0,45$), Sureste de Australia ($-0,30$ a $-0,50$), partes de Suramérica y toda Norteamérica, con la excepción de Galveston ($-0,05$ a $-0,35$). Walker creyó que tales correlaciones eran el resultado de una circulación incrementada por todas partes, asociada con un máximo de manchas solares. Esta circulación incrementada debería causar nubosidad y precipitaciones anormales, que, a su vez, deberían reducir las temperaturas superficiales. Análogamente, el máximo de manchas solares debería estar relacionado con temperaturas crecientes, o al menos con temperaturas descendiendo menos lentamente, en el aire superior, sobre áreas desérticas, donde no puede penetrar la nubosidad ni la lluvia, y en estaciones de islas tropicales donde los gradientes son generalmente excesivos y el aire muy húmedo con cualquier tipo de circulación.

Walker no solo empleó datos de 152 estaciones, sino que también consideró los niveles de agua del Nilo, el caudal del Mississippi, el nivel del lago Constanza y el volumen del mar Caspio.

La correlación entre presiones y manchas solares encontrada por él, tiende a ser el fundamento de la teoría del incremento de circulación con el máximo de dichas manchas. Walker concluyó, sin embargo, que aunque existieran algunas relaciones entre el tiempo y las manchas solares eran demasiado débiles en su conjunto para la predicción práctica del tiempo.

2.1.2. Tiempo estacional.

Estudiando por todo el mundo las relaciones de varios elementos del tiempo entre sí, calculó Walker numerosas correlaciones de contemporaneidad, y retraso de relaciones entre presiones, precipitaciones y temperaturas estacionales. Por ejemplo, la temperatura media en Ciudad el Cabo, en Sur-Africa (Diciembre-Febrero) fué relacionada con la presión media para Suramérica meridional (media de Buenos Aires, Córdoba y Santiago de Chile) para el invierno y primavera precedentes, el verano contemporáneo y los siguientes otoño e invierno. Muchos de estos coeficientes resultaron mayores de lo que podía achacarse al simple azar.

La presión superficial de invierno en Islandia se relacionaba con la presión superficial contemporánea en otras áreas como sigue: Irkutsk mas Eniseisk $0,34$, Viena $-0,52$, Punta Delgada (Azores) $-0,54$, Charleston $-0,32$, Tokio, $-0,38$, y El Cairo $-0,42$. La probabilidad de que el puro azar pudiera producir esas correlaciones en Viena y las Azores es sólo de 11 en 100.000. Estas correlaciones y otras similares condujeron al descubrimiento de tres "oscilaciones": oscilación del Atlántico septentrional, oscilación del Pacífico septentrional, y oscilación meridional. El término "oscilación" se refiere a la tendencia de la presión para variar en una región en un sentido inverso al de otra (es decir, una subida en una región significa una bajada en otra).

2.1.3. Oscilaciones de gran escala

Las oscilaciones en el Atlántico norte se refieren a la tendencia para que las presiones subnormales cerca de Islandia vayan unidas a presión superior a la normal cerca de las Azores y viceversa. La oscilación del Pacífico norte denota la oscilación inversa entre la baja Aleutiana y el cinturón de altas presiones del Pacífico al sur. Las tendencias de persistencia de estas oscilaciones parecen demasiado pequeñas para resultar significativas con vistas a la predicción estacional.

La oscilación meridional se refiere a la relación inversa entre presiones en el Sur del pacífico y en el área del Océano Indico. La tendencia a la persistencia de esta oscilación es muy grande como puede verse por los siguientes coeficientes de correlación entre las estaciones sucesivas:

Diciembre a Febrero con Marzo a Mayo	0,68
Marzo a Mayo con Junio a Agosto	0,52
Junio a Agosto con Septiembre a Noviembre	0,82
Septiembre a Noviembre con Diciembre a Febrero	0,90

La presión de Port Darwin ejerce aparentemente más influencia sobre distintas regiones a base de contemporaneidad y retraso que cualquier otro factor mundial. Esta oscilación meridional ha sido usada para la previsión de lluvias en el Japón y la Isla de Java.

2.1.4. Precipitaciones en la India.

Una aplicación específica de correlaciones por todo el mundo fué hecha en la predicción de lluvias estacionales para la India. Una fórmula de regresión dando un coeficiente de correlación múltiple de $0,76$, se de

3.

sarrolló ya en 1.908 y revisó en 1.919 y 1924 para predecir la lluvia en la India durante la estación húmeda (Junio Septiembre) a partir de los valores de la tabla 1.

TABLA 1.

Variables empleadas para predecir las lluvias en la India durante la estación húmeda.

Lugar	Variable	Mes o meses precedentes	Correlación
Ciudad del Cabo	Presión	Septiembre- ¹⁰ Noviembre	-0,38
América del Sur Meri- dional (media de Buenos Aires, Córdoba y Santiago)	Presión	Abril-Mayo	-0,44
Dutch Harbor	Temperatura	Diciembre-Abril	-0,38
Java	Lluvia	Octubre-Febrero	-0,36
Zanzibar	Lluvia	Mayo	-0,42
Rodesia Meridional	Lluvia	Octubre-Abril	-0,50

Montgomery en 1.940 comprobó fórmulas similares a las de Walker y encontró que tenían sólo un ligero valor práctico en relación con los datos independientes. Concluyó, sin embargo, diciendo que la oscilación meridional debería ser estudiada como posible aplicación a la predicción estacional para Norteamérica.

2.2. Método de Abbot.

Este método de predicción a largo plazo está basado sobre las siguientes premisas:

1°. Hay una variación real de la constante solar días a día.

2°. Estas variaciones solares comprenden doce o más periodicidades, todas las cuales son submúltiplos in tegrales de 23 años.

3°. Periodicidades correspondientes ocurren en temperaturas y precipitaciones para estaciones terrestres. Abbot cree que estas periodicidades del tiempo son el resultado directo de periodicidades en la radiación solar y están suficientemente bien definidas para servir como base de detalladas predicciones a largo plazo. Por ejemplo, publica corrientemente predicciones del tiempo en Washington, D.C. día a día, con periodos de anticipación de un año, sobre la base de un supuesto ciclo de 27,0074 días en precipitación y 6,6456 días en temperatura.

Numerosas objeciones se han hecho al método de Abbot. En primer lugar, las variaciones observadas en la constante solar son tan pequeñas (menos del 1 por 100 del valor medio), que pudieran ser ficticias y causadas por errores de medida. Es también difícil ver como tan pequeñas variaciones solares pueden causar cambios de tiempo en gran escala. Además, el mismo Abbot ha notado la existencia de mayores cambios en la forma, fase y amplitud de periodicidades solares y del tiempo, que hacen su empleo extremadamente complicado y difícil. Finalmente debería hacerse notar que las periodicidades solares y del tiempo encontradas por Abbot, han estado sujetas a rigidas pruebas estadísticas por diversos autores, y en cada una se llegó a la conclusión de que la realidad de las alegadas periodicidades era extremadamente dudosa.

2.3. Método de Schell.

El método propuesto por Schell es esencialmente una extensión del trabajo de Walker. Está basado sobre lo que Schell llama "persistencia dinámica". Según su definición es la persistencia, en ciertas áreas, de medias de presión al nivel del mar que afectan al tiempo siguiente en regiones distantes donde tal persistencia no existe.

Los efectos de "persistencia dinámica" son más notables en áreas cuyo tiempo está relacionado con un valor más anticipado de presión al nivel del mar para Australasia tropical. Este valor se obtiene promediando las presiones simultáneas a nivel del mar en Manila, Port-Darwin, Batavia y Calcuta. La presión a nivel del mar en Australasia es muy persistente desde la causa del invierno, como se ve por un coeficiente de correlación serial de 0,77 basado sobre 54 años de edad. Schell proclama que muchos de los temporales que se originan en este á--

rea cruzan el Océano Pacífico y entran en Norteamérica. De aquí la hipótesis de que un valor de la presión subnormal al nivel del mar en Australasia tropical es seguido por excesiva serie de temporales y precipitaciones en Norteamérica.

Schell dió otros tres ejemplos de la ocurrencia de "persistencia dinámica". Quizá el más impresionante, es la relación entre las temperaturas de Febrero y Marzo en Europa septentrional y el gradiente medio de presión en ese área durante el mes precedente. Un segundo ejemplo, es la relación entre la presión en Port Darwin (Australia) desde Agosto a Octubre y las lluvias en el Sureste de las Indias Orientales durante Noviembre siguiente, indicada por un coeficiente de correlación de $-0,56$ para el periodo 1.881-1940. La tercera relación, es la tendencia a un desplazamiento hacia el Sur de los hielos marítimos de Groenlandia durante Abril a Julio, seguido por un desplazamiento también hacia el Sur de las trayectorias ciclónicas en Europa, durante Octubre, Noviembre y Diciembre. Esto conduce a un incremento de precipitaciones en Inglaterra y a un decrecimiento de precipitaciones en el Norte de Noruega. Sin embargo el mecanismo físico de estas correlaciones no está aun claro.

2.4. Método de Clayton.

El método de Clayton de predicción a largo plazo está basado sobre la creencia de que los cambios en temperatura y presión de todas las partes del mundo tienen una íntima relación con los cambios en las condiciones polares. La teoría puede resumirse como sigue:

"Con un incremento de radiación solar, la temperatura sube y la presión baja en las regiones ecuatoriales. Esto va seguido inmediatamente por una subida de presión y una caída de temperatura en las regiones templadas, alcanzando un máximo entre las latitudes de 40 y 60 grados Norte y Sur. Desde la región de máxima subida de presión, una onda bórica de retorno se pone en marcha hacia el Ecuador, pero también deriva hacia el Este con la derivación de la atmósfera hacia el Este. Estas ondas se ha creído que son la causa de las oscilaciones de temperatura y presión observadas en varias estaciones de todo el mundo." Clayton proclamaba que esta relación entre cambios de radiación solar y cambios siguientes de tiempo es aplicable no solo a periodos de unos pocos días de duración sino también a periodos de un mes, una estación, un año, una década y una centuria.

Hay cinco escalones en el procedimiento de predicción de Clayton:

1°. Los fenómenos meteorológicos de temperatura, presiones y precipitaciones son analizados, uniformando los datos y midiendo esos parámetros dentro de pulsaciones, ondas, o periodos de longitud sucesivamente incrementada. Esto se hace para cada estación de la red. (Los últimos valores pueden ser transcritos sobre mapas y líneas de desviación extraídos de los datos uniformados. A partir de una serie de tales mapas puede deducirse y anticiparse el movimiento de áreas con mayor y menor desviación así como su posición futura.)

2°. Los datos de radiación solar son uniformados, dentro de pulsaciones y ondas, de la misma manera y estas pulsaciones y ondulaciones son relacionadas con las pulsaciones y ondas meteorológicas.

3°. Las últimas ondas se proyectan hacia el futuro, usando en la extrapolación la longitud media de un periodo solar determinado por la experiencia o el cálculo. Esto se hace para una sucesión de periodos de diferentes longitudes.

4°. Los valores para un tiempo particular determinado se deducen de cada una de las curvas proyectadas con anticipación y los valores predichos se consideran en conjunto para obtener el valor esperado en la estación.

5°. El proceso descrito en el párrafo 3 se realiza para una red de estaciones, las sumas se transcriben sobre mapas y se dibujan las correspondientes líneas de iguales valores. El resultado es un mapa con el pronóstico del tiempo esperado en las áreas deseadas.

Diferentes comprobaciones y críticas del método de Clayton, por ejemplo la aparente inseguridad de su base física, hacen que nunca haya sido generalmente aceptado por los meteorólogos.

2.5. Estudios estadísticos aplicados a Estados Unidos.

Mencionaremos a algunos de estos estudios realizados en los últimos cincuenta años.

Bliss dedujo cuatro correlaciones entre las temperaturas medias invernales de América central y las condiciones anteriores sobre el Océano Índico.

Groissmayr encontró que la temperatura media invernal en Winnipeg era un indicador para las temperaturas de la primavera siguiente en la región de los grandes lagos y en los estados del Norte del Atlántico. También relacionó la presión en la Argentina con las temperaturas en Estados Unidos seis meses más tarde y con muchas

2.7. Método de las singularidades.

Una "singularidad" se define como un cierto fenómeno meteorológico que se repite aproximadamente al mismo tiempo casi todos los años.

En los últimos veinte años se han hecho muchos estudios sobre el particular y sus posibilidades en la previsión por meteorólogos alemanes, ingleses y franceses. Las singularidades en la frecuencia de situaciones sinópticas también se han usado con cierta extensión como ayuda a la predicción a largo plazo en Alemania (por ejemplo puede verse el trabajo citado de Baur en el *Compendium of Meteorology*) 1

Las singularidades pueden estudiarse prácticamente en relación con cualquier fenómeno meteorológico. El método usual es establecer los valores medios diarios, de cinco días o semanales, de un elemento a lo largo de un gran número de años. Cuando estos valores son transcritos para días sucesivos o series de cinco días, etc., del año, se nota que la gráfica resultante presenta un número de máximos y mínimos que están claramente acentuados en relación con las otras irregularidades de la curva media. La creencia de la mayoría de los que estudiaron las singularidades es que tales irregularidades, cuando están suficientemente pronunciadas, son reales y no deberían ser omitidas por adición de muchos años de edad. En tales casos las irregularidades pueden considerarse como el promedio de fijación del tiempo con arreglo a las fechas del calendario, lo que da una "división natural" de los regímenes de tiempo dentro de cada estación. Un argumento en favor de la existencia de ciertas singularidades es que las comparaciones de trabajo de investigadores independientes, y de datos de varias estaciones, indican los mismos resultados.

Algunas críticas se han hecho (especialmente en Alemania) de la tendencia a suponer que todas las irregularidades son singularidades. Se ha visto por Bartels que la mayoría de ellas se producen por procesos del azar puramente. Solo las mayores pueden considerarse como reales y para discriminarlas debe usarse una cuidadosa técnica estadística.

El Servicio Meteorológico francés está intentando corrientemente predicciones a largo plazo (hasta de 30 días) basadas primordialmente sobre las singularidades. Este Servicio ha determinado, para muchas estaciones, las curvas anuales de presión media diaria, calculadas para varios periodos de treinta años, y uniformadas, usando promedios de cinco días (medias de cinco días de las presiones observadas alrededor de cada día sucesivo del año). Estas "curvas básicas" muestran ciertas irregularidades (singularidades) que son superpuestas sobre las tendencias graduales estacionales.

Una transcripción similar de presiones medias, para varios meses pasados, se regulariza por el mismo método, dibujándose a la escala deseable para hacer su variación similar en amplitud a aquella de la base, y transcribe sobre un papel transparente. Esta curva del año se superpone sobre una de las curvas normales básicas, comparándolas entre sí a través de cada fecha. Esta comparación aproximada se basa principalmente en las posiciones de los senos y cuñas de esas curvas, tomando menos en consideración sus amplitudes. Así, el paralelismo es el principal indicador de las singularidades, y para encontrarlas pueden hacerse ligeros desplazamientos en las escalas de los tiempos.

Una vez identificadas las singularidades, las curvas medias individuales de cinco días son extrapoladas más o menos paralelamente a la curva normal, pero las amplitudes se exageran o disminuyen de acuerdo con el comportamiento corriente del año respecto a lo normal. Además se observan las curvas homólogas (análogas) para el pasado reciente (meses precedentes); así como las simetrías de los periodos más largos en las curvas de variación. Este procedimiento se sigue en varios lugares de Europa y del Atlántico Oriental haciendo una predicción a largo plazo de la presión superficial o del cambio de presión superficial. En estos lugares se construyen series de mapas previstos de presión en superficie, uno para cada "fase" sucesiva del periodo de predicción, y de este modo se refleja la evolución de la situación sinóptica. Los valores previstos de la temperatura, precipitación, nubes y vientos pueden deducirse a partir de estos mapas.

E. E. P. Brooks, usando un método diferente obtuvo datos de singularidades notables similares a aquellos de otros investigadores europeos. Sus investigaciones se dirigieron, no tanto a encontrar recurrencia de elementos climáticos individuales, como a encontrar recurrencias en ciertos tipos de situaciones meteorológicas, especialmente aquellos asociados con presiones anormalmente altas o bajas.

Además, examinó la distribución de presiones en la región de las Islas Británicas, día a día, sobre mapas sinópticos de cincuenta y dos años. Cada día fue incluido en una de las tres siguientes categorías: Borrascoso, anticiclónico, o sin clasificar. Un día borrascoso lo definió como aquel en el cual la presión sobre las Islas Británicas o en sus proximidades estaba por debajo de 992 mb., y un día anticiclónico como aquel en el cual la curvatura, sobre las mismas Islas, era anticiclónica y la presión tenía un valor de 1.020 mb. o superior.

Ya que el objetivo del estudio de Brooks era investigar turnos meteorológicos, no se consideraron las cuñas transitorias de alta presión o los anticiclones cubriendo el área durante menos de tres días, y también se ignoraron las rupturas de uno o dos días en los periodos borrascosos o inestables. Se encontró que esas dos indicaciones estaban generalmente de acuerdo para uno o dos días. La "sucesión" sinóptica fue entonces examinada independientemente en las series de mapas de presión superficial de los años individuales y en aquellos de las medias de veinte años, para deducir como empezaba cada singularidad, como se desarrollaba y terminaba, y adaptar los cambios de tiempo asociados con cada singularidad dentro del cuadro formado por el desarrollo normal de la distribución de presión.

En otros estudios se intentó encontrar si las singularidades en las presiones medias de cinco días, de punto sobre el Atlántico norte, estaban asociadas con ciertas situaciones sinópticas, o en otras palabras, si hay singularidades en la existencia de campos béricos particulares. Los resultados de estos trabajos (patrocinados por el Air Weather Service) demuestran que las mismas singularidades encontradas por Brooks en Europa occidental existen sobre el Atlántico. Estas singularidades se repiten en el 78 por 100 aproximadamente de los cuarenta años estudiados.

2.8. Hielos polares y tiempo estacional.

Investigadores independientes trabajando con periodos distintos de datos han obtenido resultados bastante comparables y consistentes relacionando los hielos polares con el tiempo estacional. Se ha lanzado la teoría de que una variación en las áreas de extensión de los hielos polares es un buen índice para la circulación general a causa de la tendencia a la persistencia y el efecto aparentemente estabilizador del hielo polar sobre los procesos atmosféricos en gran escala. A menudo tales factores de persistencia son capaces de reflejar en una forma más simple hechos complejos de la circulación general. Desgraciadamente no se han establecido índices reales debido sobre todo a las escasas medidas sobre los hielos polares y a su complejidad de configuración. Las observaciones en los mares de Barent, Noruega y Groenlandia, constituyen las más exactas y representativas series de datos. A partir de estas observaciones se ha establecido la posición media del límite de los hielos como una línea extendiéndose a través del mar de Barent desde Murmansk, Rusia, a Svalvard (Spitzberg) y después del norte de Islandia al extremo inferior de Groenlandia. La extensión más meridional del límite de los hielos (Abril) puede variar varios cientos de millas, de año en año, sin correlación aparente entre Groenlandia y el mar de Barent. "Fuentes hielos" es el término normalmente aplicable cuando su límite está lejos de la posición normal hacia el Sur, y "débiles hielos" cuando el límite de los mismos está alejado hacia el Norte de su posición normal.

Una síntesis de los trabajos de diversos investigadores demuestra que los fuertes hielos con el agua fría polar correspondiente, van asociados a presiones anormalmente altas y persistentes sobre las regiones polares. El régimen de presiones anormales parece afectar a la distribución general de presión y a los elementos meteorológicos sobre grandes áreas del mundo. La apretada distribución isotérmica producida por el desplazamiento hasta el Sur del aire frío polar dentro de los Océanos normalmente más caliente, parece establecer campos de ciclogénesis que producen un desplazamiento hacia el Sur de las trayectorias medias de las borrascas.

Por ejemplo: Wiese, relata una disminución de la frecuencia ciclónica y un desplazamiento hacia el Sur del camino medio de las depresiones, sobre el Atlántico Norte, en el verano, otoño y principios del invierno siguientes a una estación de fuertes hielos, (Abril-Julio). El desplazamiento medio del camino ciclónico es de 2,9 grados de latitud en verano y 3,4 grados en el siguiente otoño para la región 40° W - 50° E. Tales desplazamientos, durante años de fuertes hielos, producen lluvias primaverales superiores a las normales en Noruega y lluvias de otoño, también superiores a las normales por toda la costa Báltica, Escocia, y más señaladamente en el sur de Inglaterra.

Por otra parte Brooks dice: "En primavera y verano de un año con muchos hielos, la presión tiende a ser superior a la normal cerca de Islandia, disminuyendo la fuerza de nuestros vientos del Oeste. En primavera, las altas presiones tienden a extenderse sobre las Islas Británicas y Escandinavia, dándonos una estación buena aunque algo fría; pero en el resto del año la presión sobre las Islas Británicas tiende a estar por debajo de lo normal y el tiempo a ser húmedo y borrascoso. Esto es notable especialmente al final del otoño y principios del invierno; y alguna de nuestras más desagradables estaciones húmedas, notablemente en 1912 y 1918, pueden atribuirse principalmente a un exceso de hielo cerca de Islandia y en el mar de Groenlandia". (C.E. Brooks "The role of the oceans in the weather of Western Europe", 1930 Q.J.R. met. Soc., ps. 131-140).

Wiese contruyó mapas de circulación media en años de hielos fuertes y débiles, promediando la presión -

en grandes zonas del hemisferio para siete años de hielos fuertes y cuatro años de hielos débiles en el mar de Groenlandia. Estos mapas muestran gradientes de presión anormalmente fuertes desde Islandia hacia el este durante periodos de fuertes hielos. También indican presiones superiores a lo normal en la proximidad de los mares polares, presiones inferiores a las normales en el norte de Escandinavia y el mar de Noruega, y en menor grado, presiones bajo lo normal por toda Europa y el Atlántico Norte. En el otoño siguiente, las presiones continúan anormalmente altas en los mares polares y bajas sobre el Oeste de Europa, especialmente las Islas Británicas y el norte de Francia. Estas variaciones de presión en diversos lugares, parecen estar asociadas con las anormales intensidades y desplazamientos de los grandes centros de acción durante años de hielos fuertes.

Llegando a una explicación físico-sinóptica de las relaciones de Wiese, Schel estableció que "el papel de los hielos polares en la circulación atmosférica no es probablemente más que una simple fase de una interpretación más general de los correspondientes procesos, a saber, que la variación de los hielos es el resultado del carácter del estado precedente de la circulación general, y que la correlación entre hielos y tiempo posterior se debe al efecto recíproco que los hielos y el tiempo frío ejercen sobre la circulación atmosférica".

3. Métodos de las situaciones típicas.

Estos métodos de predicción tratan de clasificar el tiempo pasado observado en los mapas, en categorías o situaciones típicas y proporcionar por tanto un medio rápido de seleccionar casos análogos a los del mapa del tiempo presente.

El éxito de estos métodos depende de dos importantes consideraciones:

- 1ª. Los grados de práctica en el reconocimiento del tipo corriente.
- 2ª. La habilidad para predecir su evolución hacia los tipos sucesivos.

Una vez que ha sido reconocido exactamente un tipo, puede hacerse la predicción a partir de los mapas diarios ideales, que retratan las configuraciones frontales a lo largo de los días sucesivos de cada tipo y basándose en las informaciones estadísticas sobre anomalías de temperatura y precipitación, masas de aire predominantes, etc.

3.1. Método de Baur.

3.1.1. Predicciones de cinco a diez días.

La base del método de Baur de predicción de tiempo a largo plazo es su concepto del "Grosswetterlage". Este término alemán ha sido traducido por Sir Gilbert Walker como "Broad-weather situation", que nosotros llamaremos "situación meteorológica general", y lo definió como "condición de la atmósfera que controla el tiempo durante varios días, permaneciendo sensiblemente constante a pesar de los cambios de día en día". Baur lo definió como "distribución media de presión al nivel del mar para cierto intervalo de tiempo, durante el cual la presión de las depresiones y anticiclones estacionarios y la circulación general dentro de una región permanecen esencialmente invariables". Baur utilizó datos de presión a nivel del mar, para los años anteriores a 1.933, cuando no había observaciones aerológicas diarias, y para tener en cuenta la constancia en el desplazamiento de los centros isalobáricos tuvo en consideración la distribución de presión en la troposfera media (nivel de 5 Km.).

Ni la duración ni los límites regionales de cada situación meteorológica general están rígidamente establecidos. El intervalo de tiempo es flexible, dependiendo de la preponderancia de cada situación particular, pero los promedios son de unos cinco días y medio en Europa Central. El hemisferio Sur ha sido dividido análogamente en cinco sectores. En la región de circulación europea, Baur estableció 25 tipos de situaciones que han ocurrido frecuentemente desde 1.871. Fueron agrupados en seis divisiones principales como sigue:

1. Alta en el noroeste (entre Groenlandia y Escandinavia).
2. Alta en el oeste y suroeste (entre Azores e Inglaterra).
3. Alta sobre el continente Europeo
4. Alta en el sureste y sur.
5. Flujo occidental ciclónico.
6. Situación de baja presión.

De manera similar Baur (Compendium of Meteorology) ha establecido dieciséis situaciones del Atlántico Norte, agrupadas en situaciones zonales, meridionales y mixtas, y siete tipos de circulaciones a cinco kilómetros de altura.

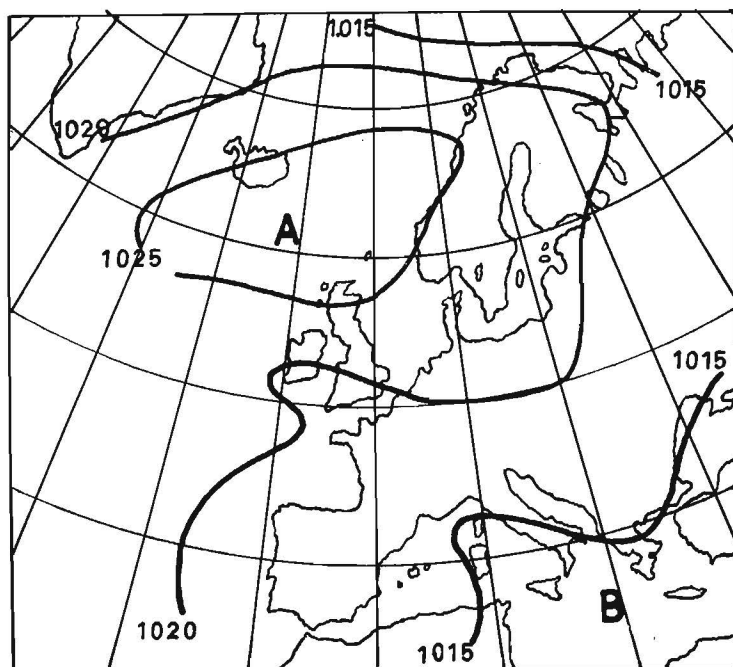


Fig. 1. Mapa típico caracterizado por una alta centrada sobre áreas entre Groenlandia y Escandinavia con condiciones anticiclónicas en Europa Central.

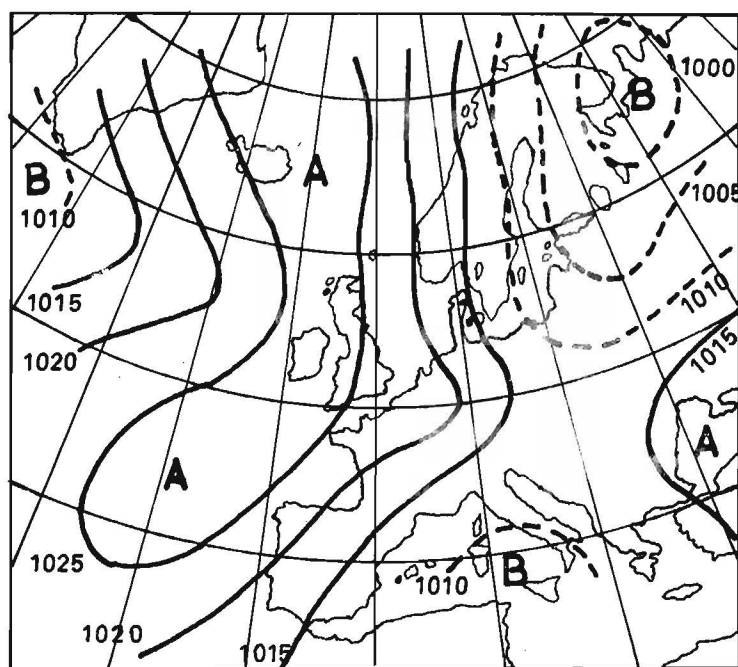


Fig. 2. Mapa típico asociado a vientos del Norte y predominio de masas aéreas frías árticas sobre Europa.

En la región de Norteamérica aceptó la clasificación de tipos de tiempo desarrollada por el Instituto de Tecnología de California. Brezowsky ha preparado un catálogo revisado de tipos para su empleo en Europa.

La significación de las situaciones meteorológicas generales se apoya en su influencia en el control del tiempo. No solo los anticiclones y depresiones individuales se gobiernan por los campos de circulación en gran escala, sino también las anomalías locales de temperaturas y precipitaciones y las masas de aire predominante. Por ejemplo, cuando el flujo anticiclónico del Este predomina en Europa (figura 1) el tiempo es de

caracter continental, seco y frío en invierno o seco y caliente en verano. En una situación del Norte (figura 2) predominan las masas aéreas frías y árticas. En una situación del Sur (figura 3) predomina el flujo tropical caliente. En una situación del Oeste (figura 4) las masas aéreas húmedas marítimas producen mucha nubosidad y frecuentes precipitaciones.

Una vez definida la significación de la "situación meteorológica general" el principal problema de la predicción de Baur es la determinación de su tipo particular y la duración durante el periodo siguiente, lo cual requiere un método completo sinóptico y estadístico.

El método de Baur se usó en la preparación de predicciones para diez días en el Instituto de Investigaciones sobre predicciones a largo plazo del Servicio Meteorológico de Alemania, que funcionó desde Noviembre de 1929 hasta Abril de 1945. La base de estas predicciones, descrita por Schel, es el cálculo de correlaciones para los 40 años pasados, entre la presión media al nivel del mar y la frecuencia de precipitaciones en estaciones seleccionadas de Alemania, durante los siguientes diez días, como variables dependientes, y elementos meteorológicos del periodo precedente en veintiseis estaciones, de Europa y proximidades, tomando varias combinaciones individualmente, como parámetros independientes. Se emplearon los siguientes elementos del tiempo pasado: presión media de los diez días anteriores, cambios de presión y temperatura durante los mismos diez días, cambios de presión en los pasados cinco días, presión del último día, y variabilidad interdiurna de presión en los pasados seis días.

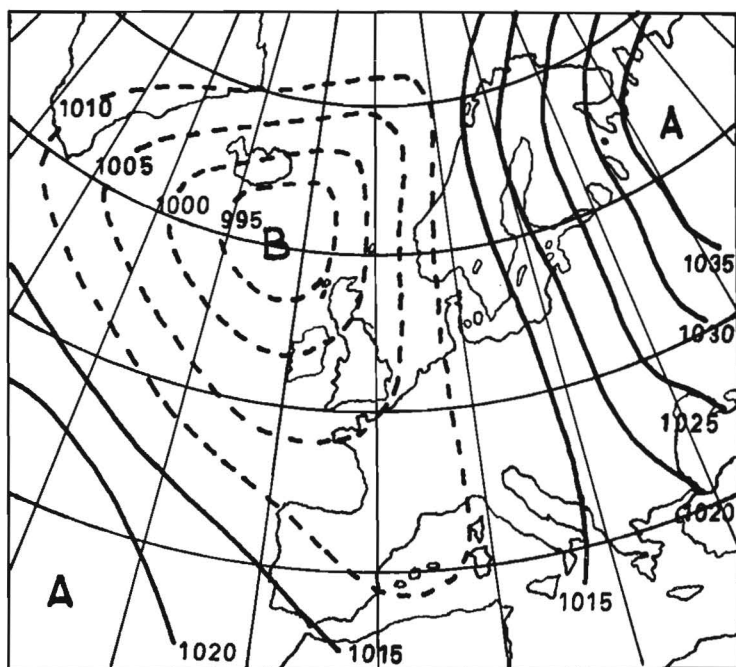


Fig. 3. Mapa típico asociado a vientos meridionales cálidos sobre Europa.

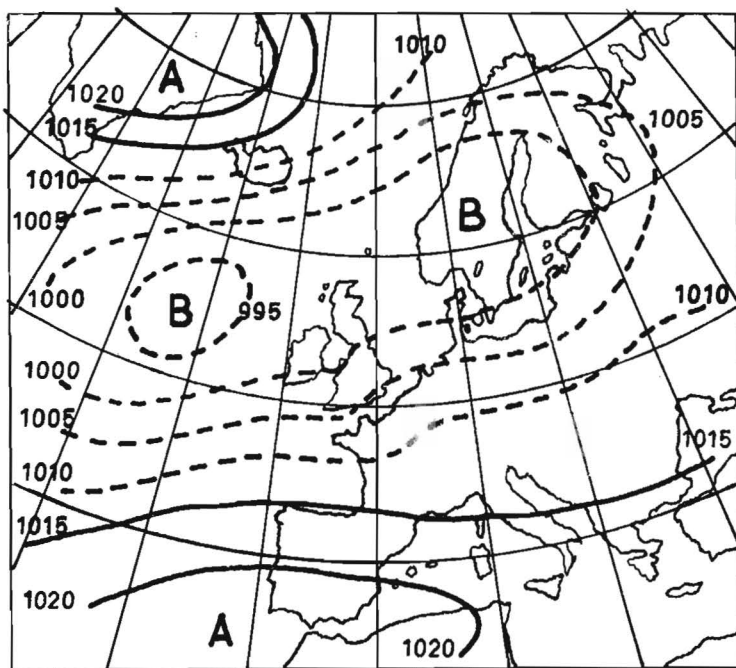


Fig. 4. Mapa típico asociado a vientos occidentales y masas aéreas húmedas marítimas sobre Europa.

Los coeficientes de correlación calculados se transcribieron en mapas y se dibujaron las líneas de igual correlación. Las cantidades reconocidas como factores seguros de previsión se incluyeron en tablas de correlación múltiple. Estas tablas no sólo hicieron posible calcular la relación entre valores definidos del tiempo precedente y siguiente, sino que también facilitaron la selección de días de los años precedentes en los cuales predominó una situación meteorológica esencialmente similar a la del día de la predicción. - Para todos aquellos días análogos se señaló sobre mapas la distribución de los seis elementos del tiempo pasado mencionados antes. Comparando estos mapas con los correspondientes del día corriente, se seleccionaron las dos o tres analogías más estrechas. Se analizaron entonces los mapas, describiendo el tiempo futuro para esos casos, con objeto de determinar el desarrollo más probable del tiempo actual.

La predicción final también se basó sobre una consideración estadística de -- factores tales como la frecuencia estacional de diferentes tipos de "situación meteorológica general", el campo de circulación del aire superior en el día de la previsión y las tendencias durante los precedentes diez días. La predicción se redactó de una manera más bien ambigua e indefinida, como ilustra el siguiente anuncio para la tercera decena de Julio de 1935: "El buen tiempo seco, predominante en la semana anterior, cambió hacia el 15 haciéndose algo inestable, pero sin embargo el tiempo en general, especialmente en el sur de Alemania, conservó un aspecto agradable. Por el contrario en los próximos primeros días el tiempo será algo inestable, alternando claros con lluvias pasajeras, - parcialmente tormentosas."

La comprobación de las previsiones de Baur, de diez días, para los veranos de 1933-1936, demostró que eran francamente prácticas y mejores que las basadas en el azar, en la persistencia o en la normalidad, aunque de poco o ningún valor después de los primeros cinco días.

3.1.2. Predicciones estacionales.

El método de Baur para hacer predicciones estacionales y mensuales se basa

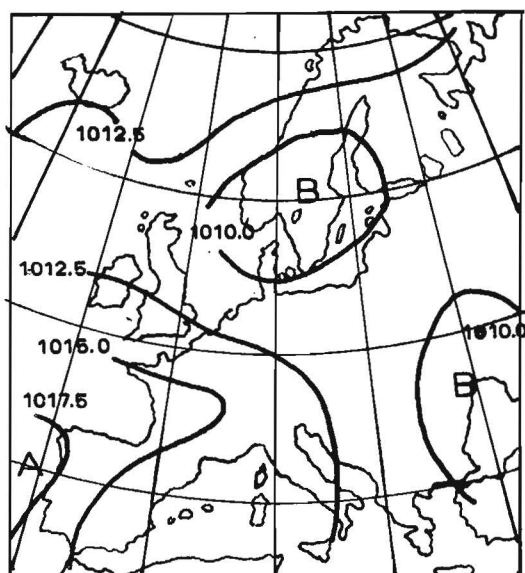


Fig. 5

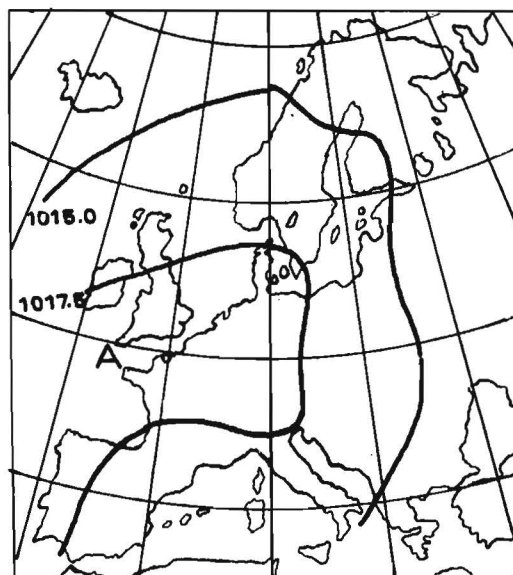


Fig. 6

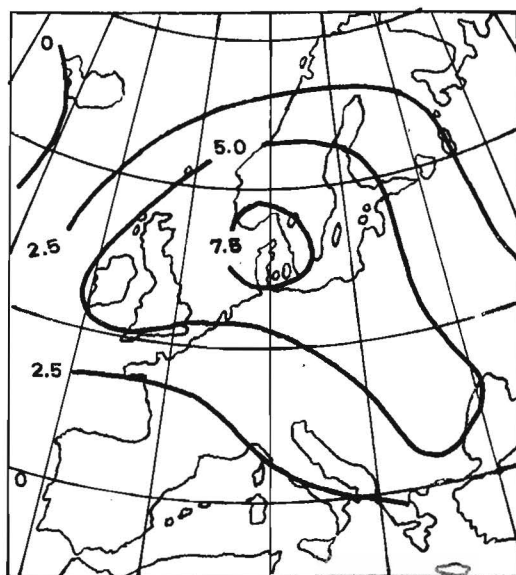


Fig. 7

en la suposición de que existen relaciones entre los cambios en la circulación atmosférica y las precedentes anomalías de temperatura y presión sobre la tierra. Para determinar la naturaleza de las relaciones entre esos tiempos transcurridos y sus bases físicas, Baur usó coeficientes de correlación y mapas sinópticos. Las etapas de su método son, primeramente, una estadística contemporánea y caracterización sinóptica del elemento en cuestión; después, determinación del mecanismo responsable de la relación existente; luego un estudio de las condiciones precedentes para servir de guía en la predicción de tiempo futuro; y finalmente, la formulación de ecuaciones de regresión múltiple incorporando las mejores predicciones individuales.

Esas etapas aparecen ilustradas en el estudio de Baur sobre la lluvia de Julio en Alemania. Encontró que dicha precipitación está en significativa relación con la presión contemporánea a nivel del mar en Europa. Correlaciones adicionales con la presión en la India, Groenlandia y las Azores no fueron significativas estadísticamente. Entonces trazó mapas compuestos señalando, por ejemplo, la presión media en Europa, separadamente para dos meses de Julio húmedos (en 1910-1914) (Fig. 5) y dos meses de Julio secos - (1911-1912) (Fig. 6). La distribución de presión en los meses húmedos indica un flujo de aire húmedo del Oeste-Noroeste curvado ciclónicamente hacia Alemania, mientras los meses secos están caracterizados por flujo del Norte y alta presión. La fig. 7 da la diferencia entre la presión media de Julio en los años secos (1911-1912) y la presión media de Julio en los años húmedos (1910-1914) -

mostrando que el área de máxima diferencia (con valores entre 5 y 7,5) está situada sobre Europa central. Ello es la base de la alta correlación notada al principio entre la lluvia de Julio y la presión contemporánea en -

la misma región. La siguiente etapa de Baur fué relacionar la lluvia de Junio en Alemania con la presión y temperatura del mismo mes en un gran número de estaciones para un periodo de cincuenta años. Encontró que las altas presiones en el norte de Noruega, durante los primeros veinte días de Junio, eran seguidas por bajas presiones en Europa Central durante los últimos diez días de Junio, que entonces persistían o se repetían e iban asociadas a fuertes lluvias en Julio.

Esas relaciones pueden expresarse por la siguiente ecuación de regresión múltiple:

$$y = -2,51 x_1 - 3,13 x_2$$

donde y es la desviación de la lluvia media de Julio, en mm. en el norte de Alemania, y x_1 la presión media en Tromsø (Noruega) entre el uno y veinte de Junio.

De una manera similar Baur derivó una ecuación de regresión múltiple para la temperatura relativa del invierno en Alemania, como una función de los siguientes cinco parámetros: la temperatura en Alemania durante el precedente periodo de Febrero a Junio, la temperatura en Noruega desde Junio a Octubre, la temperatura en el Oeste de Groenlandia de Julio a Agosto, la diferencia de presión entre Azores e Irlanda desde Abril a Junio, y la temperatura en el este de los Estados Unidos de Septiembre a Noviembre.

El método de Baur ha demostrado, por ejemplo, que a una circulación zonal fuerte en Europa durante Febrero sigue un tiempo cálido en Alemania durante más.

El artículo de Baur en el "Compendium of Meteorology" facilita información adicional sobre su método de preparar predicciones mensuales y estacionales. En él se expone que Baur, como Willett, han revisado su primera opinión acerca de la importancia del sol en el tiempo terrestre. Se concluye que "Las fluctuaciones en la radiación solar representan un complejo de condiciones que gobiernan el curso del tiempo". Como evidencia se citan impresionantes estadísticas sobre la relación entre los elementos meteorológicos en partes del mundo ampliamente diseminadas y las variaciones de la constante solar y de los números de manchas solares.

Estas relaciones ofrecen promesas de futuras investigaciones, pero no son aún bastante definitivas o concluyentes para poder ser usadas en la preparación regular de predicciones a largo plazo.

Baur también ha definido su técnica estadística, que él llama "estadística de casos individuales". El método está proyectado para explicar los procesos físicos y las características especiales de cada caso particular. Esto se realiza ordenando los datos y seleccionando sólo aquellos casos que cumplan ciertos requisitos extremos. Finalmente, el método añade poco nuevo a la comprensión de los mecanismos físicos operantes. Por esta razón Baur admite que "debe renunciarse a todas las solicitudes de publicaciones regulares de predicciones mensuales y estacionales dado el presente estado de nuestros conocimientos".

3.2. Tipos norteamericanos.

En Norteamérica los primeros exponentes de tipos de tiempo en la predicción a largo plazo son de Krick y Elliott. Estos investigadores han clasificado muchos años de mapas analizados al nivel del mar para regiones del Pacífico, Norteamérica y Atlántico Septentrional. El lóbulo oriental del anticiclón semipermanente del Pacífico al nivel del mar, la baja Aleutiana, la trayectoria de irrupciones polares, y la dirección de movimientos de los centros borrascosos migratorios se usan en la determinación de esos tipos.

Los tipos originales, desarrollados primeramente en el Instituto de Tecnología de California se eligieron adecuadamente para restringir la vida de cada uno a 6 más o menos un día.

La experiencia reveló que dos de los más importantes defectos de este método fueron el forzar los tipos acoplándolos dentro de una vida algo arbitraria de seis días y en no considerar los datos del aire superior en las clasificaciones de cada tipo original. En ellos, el tiempo de vida de un tipo corresponde al paso de una sola familia ciclónica, generalmente tres días, con considerables variaciones a través de una región. Se encontró que, para propósitos de clasificación, el tiempo de una región generalmente puede ser dividido en dos clases distintas de acuerdo con los campos de flujo meridional y zonal.

Tipos meridionales. - Los tipos de flujo meridional se caracterizan por sistemas de cuñas y senos de gran amplitud, en niveles superiores, anormalmente alejados hacia el Norte y el Sur de sus trayectorias medias. También son frecuentes con estos tipos irrupciones polares penetrando bastante hacia el Sur. Temperaturas superficiales anormalmente frías se encuentra frecuentemente detrás y en las áreas entre un seno y la cuña inmediata hacia el Este. Las áreas de máxima nubosidad y precipitación se hallan inmediatamente delante de los senos de niveles superiores.

Tipos zonales. - Los tipos de flujo zonal se caracterizan por un flujo del Oeste relativamente poco ondulado. Se clasifican de acuerdo con la latitud del cinturón de vientos occidentales. Anomalías de temperatura superficial fría se encuentran frecuentemente en el aire polar al Norte del cinturón de viento zonal, -

con anomalías cálidas al Sur. La precipitación más fuerte se supone que ocurre a lo largo de la zona de mayores contrastes térmicos.

Tipos del Golfo. Cuando los sistemas de temporales del Oeste se desplazan hacia el Este, es frecuente que dejen en el Golfo de México un sistema frontal remanente de los que van arrastrando. Cuando el seno frontal de una nueva borrasca penetra en este área se produce a menudo ciclogénesis sobre el frente del golfo. La onda nuevamente formada se mueve entonces hacia el Nordeste y domina el tiempo en las zonas orientales de los Estados Unidos.

Tipos de la Bahía de Hudson. Están caracterizados por fuertes anticiclones superficiales en esta bahía. Si el alta es de origen polar y se extiende hacia el Sur en forma de cuña con un centro de alta presión separado sobre los grandes lagos se designa con el indicativo H_2 . El tipo H_2 está asociado con una célula de alta presión tropical al nivel del mar sobre el Sudeste de los Estados Unidos, que domina completamente la circulación, con alta humedad por toda el área. Otra célula de alta presión a nivel del mar, de origen polar, con aire frío y relativamente seco en superficie, se encuentra sobre Quebec y la Bahía de Hudson. Una zona de frente de Oeste a Este, aproximadamente, separa estos dos centros semipermanentes de alta presión, con frecuentes temporales a lo largo de ella. Este tipo se registra casi exclusivamente en verano.

4. Métodos de las analogías.

Muchos intentos se han hecho de usar las analogías meteorológicas para la predicción a largo plazo. La teoría básica, fundamento de esta técnica, es simple. Si se encuentran dos situaciones de tiempo idénticas, sus evoluciones consiguientes también serán idénticas. Si se encuentra la propia analogía en la serie de mapas meteorológicos de que se dispone, puede hacerse una previsión para un periodo dado leyendo el tiempo directamente a partir de las siguientes sucesiones de mapas observados.

Desgraciadamente, es casi imposible encontrar dos mapas que sean idénticos. Además, Darling demostró por medio de pruebas estadísticas exhaustivas, que la persistencia es el principal factor tenido en cuenta cuando se hacen las predicciones a partir de mapas análogos, que han sido seleccionados sin considerar su desarrollo histórico. Por tanto parece deseable seleccionar analogías que tengan historias similares, y que muestren marcado acuerdo sobre grandes áreas del hemisferio y a todos los niveles de la atmósfera, lo cual complica mucho la cuestión. A pesar de las limitaciones de este método, en general, debería investigarse de manera más completa para poderlo usar en conjunción con otros procedimientos.

4.1. Métodos varios de seleccionar analogías.

El Air Weather Service ha empleado tarjetas perforadas para clasificar mapas superficiales de cuarenta años (Enero de 1.899 hasta Junio de 1.939).

Durante la Segunda Guerra Mundial se seleccionaron las analogías mecánicamente en la unidad de control de datos por medio de equipos I.B.M. En estos trabajos no se consideraron ni la historia ni los campos de flujo del aire superior. Otro método de selección se ha usado en Bad Kissingen, Alemania. Consistía en acoplar pequeños dibujos de mapas europeos, aproximadamente de una pulgada cuadrada, correspondientes a cada mes, sobre grandes bastidores de cartón. Cada cartón contenía varios cientos de mapas, representando muchos años de datos. Las analogías para los mapas corrientes o previstos se encontraban a través de la inspección visual de esos pequeñísimos dibujos. Tal representación gráfica es un medio rápido de considerar semejanzas de configuraciones, desarrollo histórico, y pronóstico de la evolución en la determinación de situaciones análogas.

En Francia, Donzel, usa un método subjetivo de seleccionar visualmente analogías que está basado sobre las configuraciones en gran escala de la circulación. Así, intenta clasificar las "mejores analogías" y varías su uso de acuerdo con la siguiente clasificación:

Caso 1.- Analogía simple (raro).

(a) Igual estación. (b) Iguales centros de acción, (c) igual forma de centros de acción, (d) evolución similar; se tiene como resultado la misma evolución inmediata y el método es válido para el mismo periodo futuro del que la evolución ha sido similar en el pasado.

Caso 2.- Analogía compuesta.

Debe satisfacer las condiciones (a), (b), (c) del caso 1. Deberían considerarse varias analogías para deducir conclusiones respecto a las conexiones del tiempo en gran escala, pero no se pueden garantizar previsiones detalladas.

Caso 3. Analogía parcial.

Debe satisfacer las premisas (a) y (b) del caso 1. Estas analogías se usan primordialmente en la selección de tipos de tiempo.

Técnicas algo similares para emplear analogías han sido descritas por L.A. Vital, que sugiere la construcción de mapas compuestos o medios de todas las mejores analogías para obtener aquellos caracteres inherentes a todas ellas. Estos caracteres, comunes a todas, deberían reflejar las más importantes características de los procesos meteorológicos en gran escala y servir como base para las predicciones.

Un método nuevo de catalogar mapas de tiempo históricos fué introducido durante 1.940-1.945 por E. Grtýr. Aunque este método fué desarrollado primeramente para las predicciones meteorológicas a corto plazo en Oslo, es posible que quizá tal técnica, con modificaciones para mayores áreas y diferentes localidades, pueda adaptarse a predicciones a largo plazo. Dicho científico transcribe muchos elementos de una serie meteorológica sobre un mapa, llamado "diagrama gufa", tomando cuenta detallada del desarrollo dinámico de los procesos meteorológicos en un área geográfica más bien pequeña. Los movimientos de masas aéreas, frentes, y sistemas de presión para series de mapas se transcriben de manera ingeniosa según sus posiciones respecto a Oslo. Estos diagramas -- son los que se emplean en la selección visual de las analogías.

4.2. La Técnica de Pagava-Multanowsky.

El método de Pagava es, en esencia, una extensión de las ideas empíricas de Multanowsky. La noción básica del método de éste consiste en suponer que las "inyecciones" de masas aéreas árticas y polares dentro de las latitudes templadas tienen una cierta periodicidad o ritmo que puede usarse para la predicción. El método de Pagava está basado parcialmente sobre este supuesto "ritmo natural" de sucesiones de sistemas anticiclónicos -- fríos en forma de "crestas" (cuñas) o células cerradas de alta presión, que se mueven a lo largo de una trayectoria N-S o NE-SW, a través de Europa e interrumpen el flujo normal de vientos del Oeste. Este ritmo de "diagnóstico ultrapolar" se emplea por Pagava como un medio de seleccionar analogías para la predicción a largo plazo. Cada situación de diagnóstico ultrapolar se examina para ritmos pasados o futuros de 90 más o menos 2 y 150 más o menos 2 días.

Se ha dicho que si una situación análoga puede encontrarse noventa más o menos dos días antes de la fecha del diagnóstico de situación ultrapolar, no ocurrirá ninguna situación sinóptica análoga 90 más o menos 2 días en adelante. Sin embargo, si no ocurre ninguna situación análoga noventa más o menos dos días antes de la fecha del diagnóstico de situación ultrapolar, si se encontrará una de estas situaciones dentro del mismo periodo de tiempo en adelante. Las mismas consideraciones tienen cabida para el ritmo de 150 más o menos 2 días, que aparentemente es independiente del ciclo de 90 días. Así, a partir de cada diagnóstico de situación ultrapolar, se encontrará una analogía de 90 más o menos 2 y otra de 150 más o menos 2 días. Ambas pueden ser pasadas, futuras o ser una pasada y la otra futura. De la situación de estas analogías pueden deducirse directamente predicciones para largos periodos de tiempo.

En la práctica esas reglas básicas son ampliadas de varias maneras. Por ejemplo, un método considera el punto medio del periodo de ritmo, es decir, cuarenta y cinco más o menos 2 y 75 más o menos 2 días, en el pasado y en el futuro, medidos desde el momento del diagnóstico de situación ultrapolar, mientras otros tratan con diferentes fases del desarrollo de los procesos sinópticos.

Los americanos parece que no han encontrado los éxitos que mencionan los rusos al emplear estos métodos, quizá, dicen, por la diferente naturaleza de la circulación en Estados Unidos y en Rusia.

5. Métodos combinados físico-empíricos.

5.1. Método de Mitchell.

Este método de preparar predicciones para siete días fué introducido en 1.944 por C.L. Mitchell, miembro retirado del U.S. Weather Bureau. Este meteorólogo supone que las ondas en las corrientes del Oeste tienen un periodo de seis días, y que las masas de aire tropical que casi se estancan a latitudes altas ejercen un profundo efecto en la circulación general, sobre un área muy grande, durante varios días. Las herramientas fundamentales para la previsión se aplican a los mapas de superficie y de 500 mbs., y con particular interés al movimiento de centros isalobáricos en ambos niveles.

Para completar el análisis diario de 3 horas Z, a 500 mbs., en el hemisferio Norte, se construyó un mapa auxiliar. Sobre este mapa se señalaron tres elementos: (1) Las anomalías de altura a 500 mbs. en cada punto de la red de paralelos y meridianos, y las isopletas de la desviación de altura desde la normal; (2) el cambio de altura en 24 horas, a 500 mbs. en cada punto de la red; (También cambios de temperatura en 24 horas para las --

estaciones de información); y (3) cursos de altas y bajas isalobáricas para cada día de la semana. Una estimación de la apariencia de este mapa con una semana de anticipación formaba la base de la predicción a largo plazo. Los centros isalobáricos a 500 mb. se usaron para fijar las posiciones de los centros isalobáricos previstos con siete días, que a su vez se emplearon para determinar la localización de alturas sobre y bajo la normal de 500 mb. Las posiciones previstas de los centros isalobáricos fueron también usadas para localizar los centros a nivel del mar. Por tanto el valor de este método de predicción a largo plazo depende principalmente de la exactitud con la cual pudieran preverse los centros isalobáricos a 500 mb. y las áreas de anomalías de altura relacionadas con ellos. Los principios para predecir esos fenómenos pueden dividirse en dos categorías: 1°. Predicción de la longitud, y 2°, predicción de la latitud de los centros isalobáricos. A continuación hacemos una distinción de estos principios generalizados:

1°. Reglas para predecir la longitud de anomalías de altura y centros isalobáricos sobre el mapa de 500 mb., previsto para siete días:

a). Si un centro isalobárico está localizado hoy en el cinturón de vientos del Oeste, otro centro isalobárico del mismo signo estará localizado de diez a quince grados (movimiento de un día) al Este del centro corriente, pasados siete días.

b). Grandes áreas de altura sobre la normal situadas a 50° N. o por encima, y aisladas de las regiones manantiales subtropicales persistirán generalmente durante el periodo de siete días. Estas áreas sobre la normal pueden reducirse e intensificarse por sucesivos pasos de centros catalobáricos y analobáricos, pero el núcleo original deberá permanecer intacto.

c). Una gran área sobre la normal en altas latitudes está asociada generalmente con un área bajo la normal en latitudes al Sur, localizada a unos 20° de longitud al Este del centro corriente del área sobre la normal.

d). Si una gran área sobre la normal está situada bajo 55° N. y está moviéndose hacia el NE. (como puede notarse por el cambio de altura en 24 horas) un centro correspondiente estará localizado de 15 a 20° al Este y de 5 a 10 grados al Norte del centro corriente en el plazo de 7 días.

La regla "a" muestra que con fuerte flujo del Oeste (alto índice) existe considerable confianza en la ocurrencia de un ciclo de ondas de seis días. Este ciclo y el más común de ondas de tres días también son inherentes al método típico de Norteamérica del Instituto de Tecnología de California. Las reglas "b", "c" y "d" se aplican principalmente a campos de circulación meridional caracterizados a menudo por bloqueo, bajo índice y cortas longitudes de onda. Mucha parte de los trabajos de Namias y Elliott sobre el bloqueo tiende a justificar estas reglas empíricas demostrando que las ondas de bloqueo en altas latitudes son persistentes, se mueven lentamente, y están asociadas con bajas frías al Sur y al Este.

2°. Reglas para prever la latitud de anomalías de altura y centros isalobáricos sobre el mapa previsto de siete días en 500 mbs.

a). Con flujo zonal los centros de anomalía corrientemente localizados al Sur de 50° N. estarán localizados más cerca de esta latitud en un plazo de siete días. Los centros ya localizados a 50° N. continuarán en esta latitud.

b) Campos de circulación meridional con altas subiendo al Este y bajas o altas bajando al Oeste de un centro en el día corriente deben tener un centro asociado a la misma latitud o más lejos hacia el Norte siete días más tarde. Inversamente, altas subiendo al Oeste de un centro con baja o altas bajando al Este, tendrán un centro asociado más meridional siete días más tarde.

Las reglas empíricas de Mitchell para predecir la longitud y latitud de las anomalías de altura y centros isalobáricos están de acuerdo con las teorías meteorológicas y resultan razonables. En la práctica, fueron ampliadas por medio de una técnica independiente de predecir el movimiento en siete días de los centros catalobáricos a partir del mapa corriente de desviaciones de altura a 500 mb. Este parece ser el más débil eslabón en la técnica completa, ya que consistía primordialmente en una extrapolación día a día del cambio de los centros con siete días de anticipación. Ha sido señalado previamente que las técnicas de extrapolación pierden su efectividad después de cuarenta y ocho horas aproximadamente. Además, la investigación sobre los mapas observados demostró que el 28 por 100 de los centros catalobáricos no existían después de siete días. Tales descubrimientos, junto a la necesidad de tratar con centros uniéndose y dividiéndose, hacen esta parte de la técnica de Mitchell menos manejable. El hecho de que tuviera éxitos tan a menudo en la extrapolación de cambios de los centros migratorios, para periodos tan extensos, es un tributo en parte a su destacada habilidad como especialista sinóptico a través de años de experiencia práctica.

Siguiendo la localización de una desviación del área normal sobre el mapa previsto de siete días, se hizo una predicción de la intensidad del centro. Esta intensidad no podía ser prevista tan exactamente como --

la posición de los centros de superficie. Un mapa de la topografía absoluta de 500 mbs. se obtuvo a partir del correspondiente mapa de anomalías de altura, simplemente por adición de los valores normales de 500 mbs en cada uno de los puntos de la red. Tales mapas previstos para siete días fueron preparados diariamente. Los centros a nivel del mar pronosticados, se localizaron sobre el mapa previsto a 500 mbs. de la siguiente manera: Los centros de alta y baja fueron situados al Este de los senos y cuñas para esa presión en las áreas de mayores curvaturas ciclónicas y anticiclónicas a 500 mbs. Las intensidades de esos centros previstos al nivel del mar eran funciones de la geografía, estación e intensidades normales, así como de cualquier tendencia anormal del año en particular.

En la preparación de la serie de mapas diarios previstos a nivel del mar el pronóstico del primer día se realizó usando los métodos corrientes para corto plazo. Las posiciones de los centros en superficie para los pasados tres o cuatro mapas previstos se localizaron a partir del pronóstico diario para siete días a 500 mbs. El segundo y tercer día de la serie representaban una transición de los centros previstos de 24 horas usando técnicas de corto plazo, al pronóstico de siete días de dichos centros usando técnicas de períodos más amplios. El hacer uso de tal transición es una de las más difíciles tareas en predicción a largo plazo. Esta predicción se realizaba estableciendo pronósticos de 48 y 72 horas sobre las posiciones de centros de superficie con técnicas de corto plazo, y ajustando las posiciones de los centros obtenidos por los métodos a largo y corto plazo, hasta alcanzar un acuerdo respecto a este segundo y tercer día. Sin embargo ningún ajuste se hizo más allá de este intervalo de tiempo. Se realizaron los pronósticos de isobaras y estructuras frontales, usándolos más tarde en la preparación de anomalías de temperatura y precipitaciones. Esto también fue principalmente un procedimiento subjetivo con previsiones de temperatura dependiendo principalmente de las previstas masas de aire y precipitaciones sobre las trayectorias pronosticadas de las borrascas.

En conclusión, el mapa de previsión a 500 mbs. y sus derivados fueron básicos en la técnica de Mitchell. El pronóstico del mapa a nivel del mar y de las anomalías de precipitación y temperatura se dedujeron de ellos. Numerosas pruebas y una comprobación continua por la División de Estadística del U.S. Wea-Bur, han probado que estas previsiones tienen alguna validez. Sin embargo, se requiere mucho razonamiento subjetivo y experiencia para completar una predicción usando este método. Hace falta considerable aprendizaje bajo la supervisión de Mitchell.

5.2. Métodos de la circulación media.

Tienen por finalidad encontrar por razonamientos físicos y procedimientos estadísticos la manera de predecir situaciones de la circulación atmosférica representadas por modelos bariométricos a uno o más niveles. Estos métodos se usan por la sección de Predicción a Largo Plazo del U.S. Wea-Bur, para preparar sus previsiones que son difundidas por el "Air Weather Service". Se basan en las publicaciones de Namias y de dicha sección.

Hay cuatro etapas en la preparación de estas predicciones:

a). Comprensión del estado inicial de la circulación general; b). Predicción de la circulación media para el periodo de cinco días que termina seis días después; c). Interpretación del pronóstico del campo de flujo en términos del tiempo medio esperado durante el periodo; y d). Predicción de la tendencia y sucesión de hechos dentro de dicho periodo.

1. Comprensión del estado inicial de la circulación.— En la identificación del estado corriente de la circulación atmosférica, así como en la predicción para extensos periodos, se emplean medias de cinco días para enmascarar las menores fluctuaciones, que Charney llama "ruidos meteorológicos". Medias de cinco días al nivel del mar, se obtienen por ejemplo utilizando valores de la presión, dos veces diarias, en ciertos puntos de latitud y longitud escogidas sobre los mapas sinópticos a nivel del mar.

Es importante para la discusión siguiente comprender el concepto en uso de los mapas medios. A través de la mecánica de los procesos de promedio se deduce que un centro de baja presión, en un área dada sobre un mapa de presión media, puede resultar solamente de: a) una alta frecuencia de bajas en aquél área sobre los mapas individuales que han intervenido en el promedio; o b) de mayor intensidad de bajas en aquél área en comparación con los alrededores; o c) de una combinación de a) y b). Los mapas medios de periodos más cortos son completamente análogos a los mapas normales, tanto en construcción como en significado. Para cualquier periodo establecido, cinco días por ejemplo, pueden construirse mapas que revelen las condiciones medias durante dicho periodo.

Los mapas medios son empleados por el predictor a largo plazo para obtener una perspectiva de las características de la circulación en gran escala, que determina fenómenos meteorológicos en periodos extensos. Los procesos menores de corto periodo, aunque extremadamente importantes para el predictor a corto plazo, que con

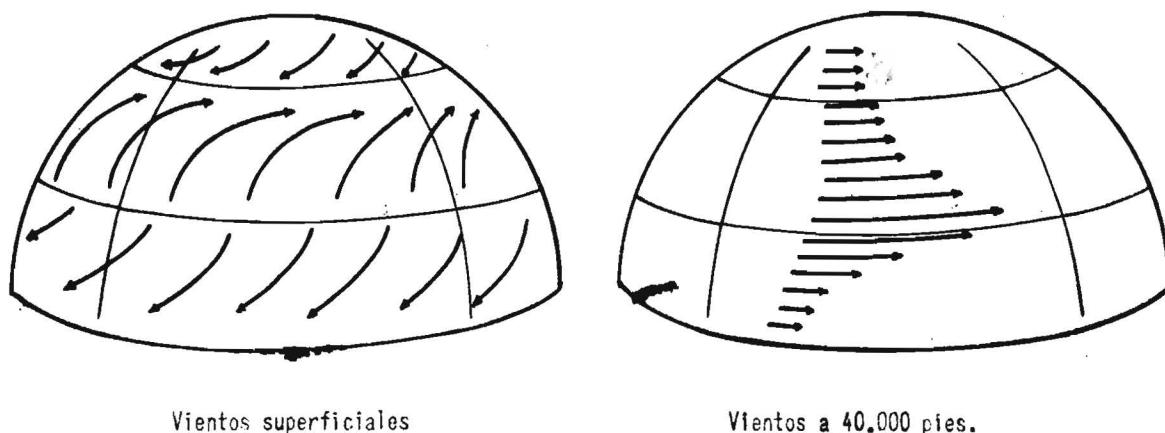


Fig.8 . Ilustración esquemática de los sistemas de vientos principales sobre el hemisferio Norte en la superficie terrestre y a 40.000 piés. (Namias).

sidera los estados instantáneos meteorológicos, pueden contribuir poco a los desarrollos en escala más amplia.

La elección exacta de la extensión del periodo es arbitraria. El periodo debe ser suficientemente largo como para excluir las pequeñas irregularidades de los mapas sinópticos diarios, aunque debe ser lo bastante corto como para no oscurecer las tendencias del desarrollo que el predictor está buscando. Un periodo -- puede ser más efectivo que otro según cada situación.

Para operar rutinariamente es conveniente adherirse a un periodo "standar". Cinco días es un periodo -- de longitud satisfactoria, que ofrece ventajas en los procesos de promedio ya que consta de diez valores correspondientes a dos diarios.

El mapa de 700 mbs. se usa como herramienta primaria por la sección de predicción a largo plazo. Este nivel fué seleccionado puesto que: a). Está alejado de la mayoría de los efectos de rozamiento superficial; b). Es representativo de las condiciones totales de la atmosfera inferior; c). los datos son completos, y -- d) Las configuraciones a este nivel son relativamente simples y fáciles de manejar.

Los diagramas esquemáticos de los campos de vientos normales para latitudes medias en la superficie y -- al nivel de 40.000 pies (fig. 8) revelan la existencia de los bien conocidos vientos del Oeste. También se -- observan una zona de vientos del Este en las regiones polares y otra en los trópicos. La variación en intensidad de esos flujos puede medirse calculando el promedio de velocidad del viento en cinturones geográficos fijos o los "índices de torsión", definidos por Stone y Willett.

Se calculan seis índices para averiguar el estado de la circulación en los cinturones subtropical, templado, y polar del hemisferio occidental al nivel del mar y a 700 mbs. Los vientos subtropicales y polares son normalmente del Este en la superficie, mientras que los restantes cuatro índices son generalmente occidentales. Los índices, expresados en metros por segundo, se han encontrado por medio de la fórmula geostrofica a partir del promedio de diferencias de presión entre las latitudes 70° N. y 55° N, 55° N y 35° N, y 35° N. y 20° N. Por los datos inadecuados en el hemisferio oriental y el efecto de la monzón asiática, se obtienen los índices solamente para el hemisferio occidental (0° a 180° W.).

Un hecho llamativo del campo de viento normal es la existencia de un marcado tipo en el perfil Norte-Sur que se ha definido como la "corriente en chorro". Este "chorro" se ha caracterizado como una corriente con meandros que se halla normalmente, dentro de la atmósfera, en la tropopausa o cerca de ella. Dicha corriente muestra amplias variaciones en el espacio y en el tiempo. La localización geográfica y la intensidad de sus vientos máximos varía con las estaciones, encontrándose estos máximos más hacia el Norte y menos acusados a final de verano, y en su posición más meridional y con mayor intensidad al final del invierno.

Las expansiones no estacionales y las contracciones del remolino circumpolar, y las correspondientes desviaciones de la corriente en chorro, han sido tratadas por Namias. Este ciclo, mientras progresa, está íntimamente conectado con la circulación general y el tiempo atmosférico.

En el primer estado de un ciclo de índices (fig. 9) el chorro está típicamente en una posición septentrional y la circulación está marcada por rápidos vientos del Oeste o condiciones de "alto índice". Los se-

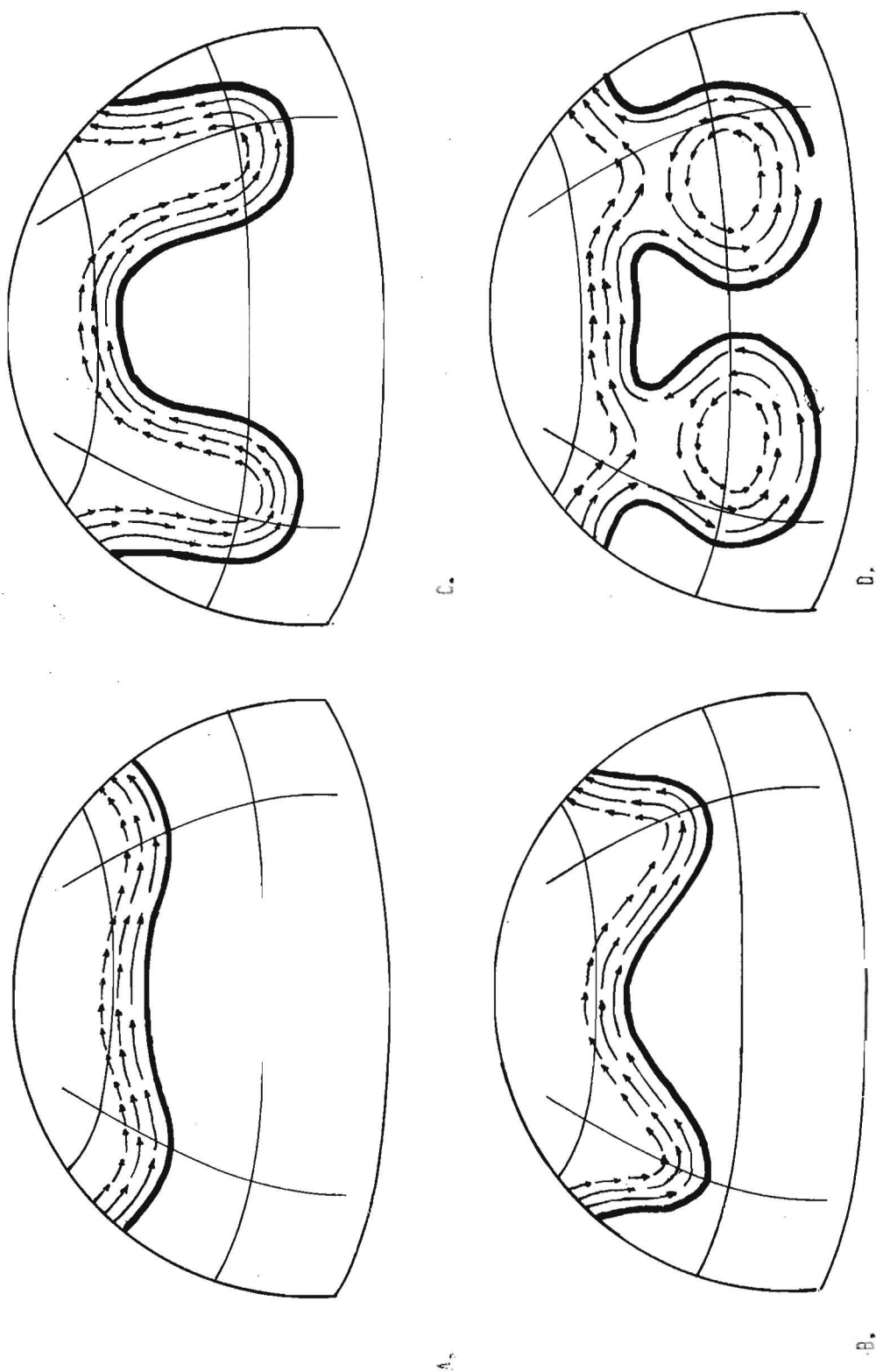


Fig. 9. Representación esquemática de cuatro estados del ciclo de índices: (A) Alto índice; (B) Declinación inicial; (C) Declinación posterior; (D) Bajo índice. (Manías)

nos y cuñas (que se discutirán después) son de pequeña amplitud y el aire frío de las regiones polares está confinado en las altas latitudes.

Mientras el chorro comienza su expansión inicial el aire frío se desplaza hacia el Sur, formando senos en regiones preferentes a la altura de la costa Siberiana y al Este de las montañas Rocosas.

El tercer estado del ciclo está caracterizado por el desarrollo de ondas de gran amplitud y una intensa circulación meridional.

En su cuarta fase el ciclo de índices ha producido una completa inversión desde el estado inicial de alto índice a una configuración de bajo índice. La circulación es ahora de naturaleza celular, con bajas frías separadas a latitudes más bajas y altas cálidas en el norte. Este es un período de tiempo perturbado cuando, por ejemplo, las temperaturas en el Norte de México pueden ser más elevadas que en el Sur de los Estados Unidos.

Aunque los valores de los diversos índices y los perfiles del viento en sí no determinan inequívocamente la forma de la circulación ni el tiempo asociado, sin embargo, son guías valiosas que el predictor a largo plazo debe considerar para valorar la situación y preparar el pronóstico.

La previsión de los índices y características de los perfiles de viento zonal implica una combinación de estadísticas, razonamientos físicos y apreciaciones cualitativas de varios parámetros sobre la base de reglas empíricas.

Las tendencias a largo plazo son con frecuencia aparentes en procesos tales como el ciclo de índices. Estas tendencias y las de corto plazo, pueden discutirse objetivamente mediante el uso de ecuaciones de regresión. Debido a la correlación serial presente en las presiones en un punto dado, y al efecto de la presión normal, ha sido posible obtener estimaciones bastante exactas de los índices, para el período medio de cinco días, con media semana de anticipación, y también indicaciones bastante reales para el período de predicción de cinco días, con una semana completa de anticipación. La estadística suministra una determinación objetiva de las tendencias, que puede también descubrirse subjetivamente por comparación de los últimos datos disponibles con las medias previas y con las normales.

Ha sido notado por Namias y Clapp que la "confluencia", el flujo unido de dos corrientes atmosféricas con diferencias térmicas agudas y características, produce una intensificación de las corrientes del Oeste. Por tanto, incumbe al predictor descubrir cualquier mecanismo existente de confluencia y predecir el desarrollo de un campo de confluencia durante el período de la predicción. Esta confluencia ocurre más a menudo cuando el flujo del Noroeste sobre el lado oriental de una cuña a latitudes altas encuentra la corriente del Suroeste de un seno a baja latitud y al Sur de la cuña.

El predictor debe también considerar el futuro movimiento del bloqueo de las ondas que puede presentarse junto con factores favoreciendo la génesis de bloqueo. Se ha encontrado que un útil concepto de este bloqueo, en relación con las predicciones a largo plazo, es una disminución del índice zonal.

Un artificio de menos importancia para predecir los índices (y el perfil del viento) es el examen de los perfiles hemisféricos del cambio de la presión. Ocasionalmente un **trón** ondulatorio de oleadas de presión aparece en el cambio de perfil y se mueve regularmente desde el polo hacia el Ecuador o desde el Ecuador hacia el Polo. Este perfil ondulatorio, cuando se ha establecido, puede ser de valor empírico para suplementar otras indicaciones del pronóstico.

5.2.2. Predicción de la circulación media.

5.2.2.1. Por métodos físicos. Un examen de los mapas a niveles superiores normales y medios de cinco días, revela un remolino circumpolar de corrientes del Oeste sobre el cual está impresa una configuración de ondas casi sinusoidales. La naturaleza de estas ondas largas en las corrientes del Oeste, establecidas en parte por la desigual distribución de continente y océano, sobre la superficie terrestre, ha sido estudiada teóricamente por muchos investigadores. Empíricamente se ha encontrado que las ondas muestran continuos movimientos -- bien hacia el Oeste o hacia el Este, cambios en amplitud, desapariciones y génesis.

Las ondas en las corrientes del Oeste tienen un importante efecto sobre el tiempo, puesto que las masas de aire frío son transportadas hacia el Sur por los vientos del Noroeste, detrás de los senos, y las masas de aire cálido son desplazadas hacia el Norte delante de ellos. Como una consecuencia de la convergencia de masas de aire diferentes, se establecen intensas discontinuidades frontales que dan como resultado la mayoría de los temporales de las latitudes templadas.

Rossby, basándose en el teorema de la vorticidad, y en ciertas suposiciones simplificadoras, encontró que la velocidad de una onda de corriente del Oeste depende de la latitud, de la velocidad zonal de la corriente en que la onda está incluida y de la longitud de la onda. La relación matemática es:

$$c = U - \frac{BL^2}{4\pi^2}$$

donde c es la velocidad de la onda, U representa la intensidad de las corrientes zonales del Oeste, L es la longitud de onda, y B es la razón de cambio hacia el Norte del parámetro de Coriolis. Experiencias similares han sido deducidas por Haurwitz y otros investigadores siguientes sobre la base de menos suposiciones restrictivas que aquellas aplicadas por Rossby.

De la fórmula anterior se deduce que las ondas cortas en rápidas corrientes zonales del Oeste (alto índice) progresan rápidamente hacia el Este, mientras las ondas largas en débiles corrientes del Oeste (bajo índice) se mueven lentamente hacia el Este o incluso retroceden.

En la práctica, la longitud de onda se mide desde un seno dado al próximo seno, corriente arriba, en la misma latitud. Si el sistema de ondas es casi simétrico, la media longitud de onda desde un seno a la cuña adyacente, corriente arriba, puede medirse y duplicarse. Ya que se observa frecuentemente una simetría, debe ejercitarse el juicio en decidir si la cuña, corriente arriba, o el seno será el agente efectivo en el ajuste de la onda de acuerdo con la fórmula.

Investigaciones sobre mapas medios de cinco días, al nivel de 10,000 piés, han demostrado que mientras la fórmula de Rossby da velocidades de onda en buena correlación con el movimiento observado, en general los desplazamientos calculados requieren corrección hacia el Este, presumiblemente porque el nivel sin divergencia está generalmente sobre los 10,000 piés. Es posible derivar ecuaciones de regresión que incorporan compensaciones deseables para varias latitudes en diferentes estaciones del año. Estas modificaciones de la fórmula teórica se ha encontrado que producen estimaciones más exactas del movimiento ondulatorio. La fórmula de Rossby ha sido también aplicada felizmente a los mapas diarios por Cressman, que midió la intensidad de las corrientes del Oeste a 600 mbs, junto al nivel medio sin divergencia.

La relación entre la longitud de onda y el desplazamiento del seno resultante se ha estudiado empíricamente, y se han preparado ecuaciones de regresión y gráficos estacionales para latitudes de 35° N, 45° N, y 55° N, a fin de ser usados en la predicción. Se necesitan gráficos separados para áreas geográficas diferentes, debido a las variaciones topográficas normales y a los efectos solenoidales. En la práctica se usa esa relación para apreciar los desplazamientos del seno a lo largo de la semana sobre el mapa medio de cinco días ultimamente observado y también para estimar los movimientos de media semana sobre el mapa de tendencias.

La efectividad de la longitud de onda puede perderse ocasionalmente cuando ocurre cambios bruscos en la configuración superior. Esto es particularmente notable durante la génesis o la desaparición de senos. Por ejemplo, dos senos se pueden separar hasta una distancia igual a la longitud de onda estacionaria (para la cual el movimiento nulo está implicado en el seno corriente abajo). Cualquier incremento posterior hace excesiva la longitud de onda, y de aquí que deba tener lugar un ajuste a menudo, en forma de una inversión de la tendencia para el movimiento separado de los dos senos. Longitudes de onda excesivamente largas pueden también compensarse por la aparición de un nuevo seno entre los dos extensos senos existentes. Ya que las nuevas longitudes de onda serán entonces generalmente demasiado cortas, se deduce con frecuencia un rápido desplazamiento del siguiente seno en el sentido de la corriente.

Debe uno darse cuenta de que los gráficos de longitud de onda no pueden usarse de una manera completamente local. Rossby demostró teóricamente que la energía puede dispersarse a velocidades completamente diferentes de la de la corriente zonal. Como resultado de ello, cambios en cualquier parte de un sistema ondulatorio planetario, pueden causar rápidos reajustes en la configuración de distintas regiones. Por tanto resulta necesario integrar los movimientos de onda esperados en todas las partes del hemisferio antes de deducir conclusiones acerca de desarrollos locales de largo periodo.

Junto al uso del concepto de longitud de onda, también se han desarrollado relaciones entre longitud y amplitud de onda. Bortman encontró que sobre mapas medios de cinco días las longitudes de onda larga están asociadas con grandes amplitudes en Norteamérica, mientras las cortas longitudes de onda tienen correlación con sistemas de amplitud más pequeñas. Klein obtuvo similares resultados para mapas medios mensuales en Norteamérica; sin embargo, la relación no se encontró útil sobre los océanos Atlántico y Pacífico.

El teorema de la vorticidad da una segunda aproximación al problema de los desarrollos de onda. Rossby ha demostrado que la trayectoria de una partícula de aire puede calcularse si se supone que la componente vertical de la vorticidad absoluta permanece constante. Por medio de una regla desarrollada por Bellamy es posible estimar la longitud de onda, la amplitud, y también la variación con el tiempo del campo sinusoidal seguido por una partícula de aire, si se conocen la latitud inicial, la velocidad y la dirección del flujo en el cual está incluida dicha partícula. La cizalladura lateral de la corriente se desprecia por considerar só-

lamente corriente anchas con cizalladura despreciable. La curvatura de la corriente se desprecia también por trabajar con flujo rectilíneo, generalmente en un punto de inflexión del campo de flujo existente.

Un computador mejorado ha sido desarrollado por Wobus en 1951. Es un dispositivo mecánico que puede fijarse en cualquier punto de un mapa de presión constante, donde no haya cizalladura ni curvatura, ajustado para las variables que entran en la determinación de la trayectoria de vorticidad absoluta constante. Este analizador diferencial resuelve la ecuación diferencial de vorticidad y automáticamente traza la trayectoria deseada sobre una proyección dada del mapa, teniendo en cuenta la esfericidad terrestre. Se han publicado tablas basadas sobre dicho analizador que hacen innecesario su uso o el de reglas como la de Bellamy.

En operaciones de predicción, se obtienen trayectorias a los niveles de 700 y 500 mbs. para mapas diarios. Estas trayectorias indican la tendencia para que los sistemas de cuñas y senos permanezcan estacionarios o se desvíen de posición como respuesta a corrientes bien desarrolladas en otras áreas que también pueden indicar cambios en amplitud. A veces las trayectorias de vorticidad pueden ilustrar sobre advecciones de temperatura, confluentes, o desarrollo de nuevos senos o cuñas y altas o bajas separadas.

De modo cualitativo el término solenoidal también se considera en la rutina operacional de la sección de predicción a largo plazo de la U.S. Weather Bureau. Mapas de anomalías de temperatura, al nivel de 700 mbs., se construyen sobre bases de datos medios y diarios. Se obtienen anomalías similares de la diaria configuración del espesor (1000 mb. a 700 mb). Estos mapas indican las lagunas de aire relativamente caliente y frío asociadas con los desarrollos de cuñas y senos. Se considera generalmente que la fuerte advección de aire frío está asociada con el ahondamiento de senos, mientras que la formación de cuñas va acompañada por advección de aire caliente. Una comparación de los mapas medios diarios puede también dar indicios de tendencias de temperatura que están entonces relacionadas con los desarrollos de la circulación.

5.2.2.2. Métodos de la tendencia y cinemáticos.

Dos de los escalones básicos en la predicción son la evaluación de tendencias existentes en los datos meteorológicos y su proyección hacia el futuro. Las predicciones a corto plazo confían fuertemente en las tendencias, por extrapolación de los movimientos de altas o bajas, sistemas frontales, yalobaras y la consideración de las tendencias depresoras respecto al último mapa disponible. En las predicciones a largo plazo se consideran generalmente las tendencias de periodos más largos, preferiblemente aquellas asociadas con los "centros de acción". Muchos de estos métodos han sido ya discutidos en las secciones de métodos estadísticos, selección de analogías y de situaciones típicas, y en varios métodos en evolución.

La Sección de Predicción a Largo Plazo de la U.S. Weather Bureau, ha ideado un método especial de medir las tendencias a largo plazo cuantitativamente. Se ha definido como una técnica cinemática, de regresión o tendencia, que incorpora tres principios meteorológicos básicos: a) Persistencia o correlación serial en la presión (y otras funciones meteorológicas continuas). b) Tendencia para el retorno de la presión a lo normal. c) Determinación del tiempo futuro a partir de la situación pasada y presente de la atmósfera.

El concepto de correlación serial, es básico en todas las fases de predicción por medio de la técnica de "mapa medio". A ella se confía lo más pesado en la proyección de tendencias atmosféricas en gran escala y la construcción de las series diarias de mapas previstos. Debido a la correlación serial o a la persistencia en los datos meteorológicos, el día medio de un periodo de predicción a largo plazo tendrá la más estrecha semejanza con el mapa medio para el periodo entero. Namias y Clapp han demostrado esta relación calculando correlaciones, usando datos al nivel del mar y a 10.000 piés, entre el mapa medio de cinco días y cada uno de los diez mapas que constituyen la media.

Namias demostró además que la correlación serial entre presiones sucesivas en un punto parece seguir la curva exponencial amortiguada que tiene como expresión analítica:

$$r_n = r_1^n$$

donde r_1 es el coeficiente de autocorrelación de un día atrás y r_n es la correlación entre la presión corriente y la presión n días más tarde. La figura 10 muestra las correlaciones para la presión a 10.000 piés a 40° N, 90° W, durante 1.944-45. La curva continua indica los valores observados. La curva de trazos los valores teóricos, dada la correlación para el primer día, y suponiendo distribución exponencial. Namias usa los valores de esta curva teórica para explicar la semejanza entre el mapa en el día medio del periodo y el mapa medio para el periodo.

La técnica de regresión ha sido extendida recientemente por Klein, para obtener un mapa similar en todos los aspectos a la carta de tendencia, excepto en el hecho de estar centrado dos días más tarde. La altura de

22.

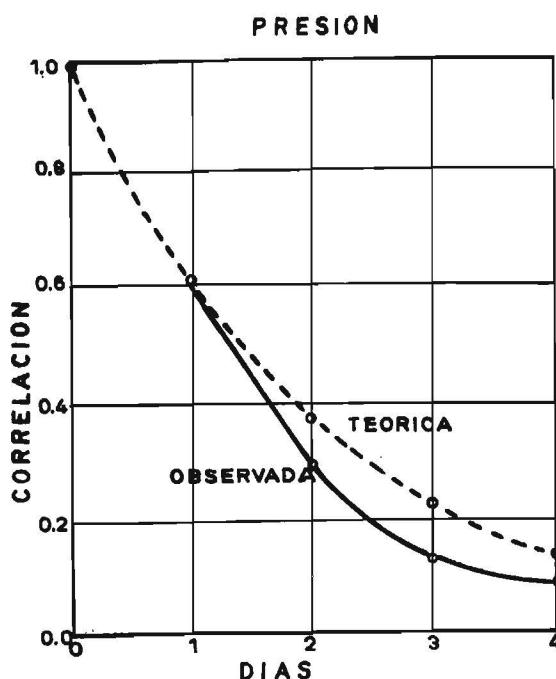


Figura 10.

700 mb. de este mapa, llamada la altura extendida, es considerablemente menos exacta que la altura del mapa - de tendencias porque incluye un número mayor de incógnitas.

5.2.3. Interpretación de la situación en términos meteorológicos.

Después de que el pronóstico medio a 700 mb. está completado, se estiman las anomalías de temperatura y precipitación. Las anomalías de temperatura se expresan en los siguientes términos: sobre, bajo, cerca, muy - por encima, y muy por debajo de lo normal. Los límites numéricos definiendo estos rangos se llaman "límites - de clase y se basan en el análisis estadístico de los registros pasados, de manera que cada una de las cla-- ses por encima, por debajo, y cerca de lo normal tiene una probabilidad de ocurrencias de un cuarto del tiem-- po, y las otras clases de un octavo del tiempo. Para la precipitación, los límites han sido determinados de - modo que cada una de las precipitaciones, débil, moderada, y fuerte tiene una probabilidad de ocurrencia de - un tercio del tiempo. Tales límites de clase naturalmente, varían de mes en mes y de lugar en lugar.

En la rutina de la predicción, las anomalías de temperatura y precipitación se supone que son productos derivados del pronóstico de los contornos. Tal suposición se hace para la predicción a corto plazo en el mun-- do entero, y es básica para la técnica de la circulación media. En otras palabras, sin tener en cuenta como - se hace ni las tendencias dentro del periodo, el campo de circulación media se supone que tiene un definido - significado físico en términos de tiempo real. Numerosos estudios estadísticos tienden a demostrar esta supo-- sición base. Aunque dicha suposición está justificada en considerable grado, se ha visto por medio de experi-- mentos controlados que si los predictores dispusieran de los mismos mapas con el pronóstico perfecto (mapas observados) sus predicciones de los elementos del tiempo deberfan mostrar considerables variaciones de uno a otro y respecto al tiempo observado. Sin embargo, recientes investigaciones de la sección de predicción a lar-- go plazo del U.S. Weather Bureau han suministrado métodos de mejorar los procesos de interpretación. Estos es-- tudios muestran que en muchos aspectos un mapa medio puede interpretarse de una manera similar a una carta -- diaria, es decir, los tipos de contorno que producen tiempo anormal sobre un mapa diario producen correspon-- dientes anomalías sobre mapas medios de cinco días o mensuales.

En general, las anomalías frías de temperatura en superficie se encuentran en el flujo septentrional de-- trás de un seno medio de nivel superior, y las anomalías cálidas en el flujo del Sur delante del seno. Además la amplitud del sistema seno-cuña, la curvatura o contorno de las isobaras, la cantidad de humedad disponible, el contraste de temperatura entre masas opuestas de aire, la topografía, estación, intensidad y la orienta-- ción del "chorro", pueden afectar a las anomalías de temperatura o precipitación.

Se han ideado técnicas objetivas refinadas que están siendo empleadas corrientemente para obtener las a-- nomalías de temperatura superficial de manera directa a partir del mapa previsto medio de 700 mb. . Martín D. E. y Weight W.G. trabajando con situaciones observadas encontraron que las anomalías mensuales de temperatura superficial podfan estimarse directamente a partir de las configuraciones de 700 mb. por una consideración - de las anomalías de altura, curvatura de contornos, y trayectorias de nivel superior. Mapas auxiliares medios, para cinco días, de anomalías de altura, obtenidos restando los valores normales en cada uno de los puntos de una red del mapa medio de cinco días, observado a 700 mb, se construyeron para ayudar a esta interpretación.-

Se descubrió más tarde que estos mapas podían emplearse en la estimación objetiva de las anomalías de temperatura superficial.

Martin mejoró y extendió esta investigación, usando los mapas medios para cinco días de anomalías de alturas a 700 mb. Calculó numerosos coeficientes de correlación espacial entre las anomalías medias para cinco días, de alturas a 700 mb. en numerosos puntos, y las anomalías contemporáneas de temperatura media superficial en una estación fija para varias estaciones del año. Estos resultados muestran que, en cada ejemplo, hay al menos dos áreas ampliamente separadas donde las anomalías medias para cinco días de alturas a 700 mb. tienen correlaciones más elevadas con las temperaturas locales en superficie. Correlaciones adicionales se hicieron entonces para ver si tales relaciones eran aplicables a mapas medios mensuales. Estos estudios mostraron que en cada caso las magnitudes de los coeficientes de correlación eran similares, y que los centros de máxima estaban localizados en los mismos lugares que los de los mapas medios para cinco días. Una de estas áreas de máximo coeficiente de correlación está localizada generalmente en la estación particular o cerca de ella, mientras la otra está a miles de millas de separación. En efecto, estos distintos centros están también delimitados que parece bastante evidente que las configuraciones en gran escala de la atmósfera deben tomarse en consideración al interpretar el tiempo aparentemente local a partir de los mapas previstos.

Los aspectos más locales de la circulación están reflejados por las anomalías de altura de 700 mb., cerca de cada estación particular. Ya que la anomalía de altura de 700 mb. en una estación depende de la correspondiente a la temperatura virtual media de la columna de aire entre 1,000 y 700 mb. que está muy relacionada con las anomalías de temperatura superficial, y ya que la anomalía de altura indica parcialmente el carácter y estructura de las masas de aire en la inmediata proximidad de la estación, no es sorprendente que un centro de alto coeficiente de correlación positiva se encuentre cerca de una estación dada. Esto es cierto especialmente para áreas continentales donde la variabilidad (variancia) de la temperatura media virtual es grande debido al encuentro más frecuente de masas de aires diferentes.

Cuando se consideran conjuntamente un área cerca de la estación y otra alejada, ambas definen significativamente la circulación superior, las masas de aire predominantes, el índice local, y otros factores que influyen en las anomalías de temperatura superficial.

Smith K.E., en 1942, comprobó los siguientes parámetros sobre los mapas medios de cinco días, respecto a su efecto en la precipitación contemporánea a través de todos los Estados Unidos:

1. Curvatura de las isobaras sobre el mapa medio de presión al nivel del mar y sobre el mapa medio a diez mil pies. Esto incluye el tipo de curvatura (cyclónica o anticiclónica) y el grado o intensidad de esta curvatura.

2. La desviación en la dirección del viento geostrófico desde la superficie a diez mil pies.

3. La aportación de humedad, según la indicaciones de un mapa medio isentrópico seleccionado. Este mapa indica la superficie inclinada (isentrópica) a lo largo de la cual el aire cargado de humedad puede suponerse desplazándose normalmente.

4. El movimiento, inclinado hacia arriba o hacia abajo, indicado por los vientos y los contornos de elevación sobre el mapa isentrópico.

Un estudio más objetivo y detallado fue hecho más tarde por Klein W.H., entre los campos ondulatorios de nivel superior y la precipitación asociada en el valle del Tennessee. Además de este modelo esquemático que ha demostrado mucha utilidad, otras varias relaciones prácticas se establecieron estadísticamente. Ellas indicaron lo siguiente:

1. La efectividad del flujo del Sur en la producción de precipitaciones, y la del Norte en su ausencia.

2. La relación del camino de la borrasca con la configuración a nivel superior. Se encontraron frecuentemente borrascas en senos inclinados desde el SW en latitudes más bajas, al NE en latitudes más altas, y en regiones de fuerte confluencia de aire caliente y frío.

3. La relación entre la precipitación y la posición de configuración de precipitación, relativas a campos ondulatorios en niveles superiores. Las precipitaciones fuertes son más frecuentes, aproximadamente, a distancia media entre un seno y la próxima cuña corriente abajo. Las precipitaciones ligeras son más frecuentes aproximadamente, a mitad de camino entre una cuña y el próximo seno corriente abajo.

La aplicación general de estos modelos esquemáticos a otras regiones orientales de Estados Unidos ha sido demostrada experimentalmente.

Más recientemente, Martín, D.E. y Hawkins H.F., han extendido las investigaciones sobre precipitaciones considerando muchas estaciones por todos los Estados Unidos. Han construido cartas medias de cinco días a 700 mb., con mapas no consecutivos de extremada variabilidad en precipitaciones de invierno, tomando varias esta-

ciones repartidas por los Estados Unidos. Ellas indican, en general, que hay dos áreas ampliamente separadas para cada estación, donde las anomalías de altura de 700 mb., parecen ser las más indicativas de las anomalías de precipitación. Has ahora estos descubrimientos no han sido incorporados a una técnica objetiva. Pero sin embargo están siendo usados corrientemente como elementos de referencia, o tipos, de los cuales puede deducirse una estimación subjetiva de las anomalías de precipitación a partir de las configuraciones medias de 700 mb.

5.2.4. Predicción de tendencias dentro del periodo de la previsión.

Debe recordarse que en la rutina de la predicción, se concede consideración primordial al mapa medio para cinco días de 700 mb. Las predicciones permanentes dependen y deben estar de acuerdo con este pronóstico de niveles elevados. Por ejemplo, las anomalías de temperatura y precipitación se deducen directamente de dicho mapa. Asimismo, el pronóstico medio de cinco días al nivel del mar se construye primordialmente por medio de técnicas mecánicas, a partir del pronóstico del mapa medio de cinco días a 700 mb. Para ayudar a esta construcción, los valores del espesor normal (700-1.000 mb.) se restan de los pronósticos de nivel superior al objeto de obtener las predicciones de la presión. Al analizar los valores medios de cinco días, calculados para la presión, se hacen modificaciones de acuerdo con las anomalías anticipadas de espesor medio (temperatura media virtual); puesto que las anomalías de temperaturas medias virtuales y superficiales tienen correlación muy alta, este método final también resulta relativamente objetivo a través del uso de tablas de conversión.

Empleando el mapa medio, se tienen indicios razonables, como la aparición y localización de centros de mayor presión del mapa diario de periodo medio. así, la configuración general del mapa previsto para 96 horas al cuarto día, se ha establecido cuando el predictor oficial acababa su pronóstico medio al nivel del mar de cinco días. Naturalmente este concepto no es infalible, y debe usarse discreción, por ejemplo, donde dos senos, más bien débiles, muy espaciados diariamente, constituyan un solo seno sobre el mapa superficial medio de cinco días. En estos casos el correspondiente seno medio está generalmente localizado entre los dos diarios.

En la construcción del mapa de cuarto día es también necesario tener en cuenta la variabilidad entre mapas diarios y medios (es decir, gradientes más estrechos sobre los mapas diarios) y señalar las configuraciones frontales que, por lógica continuidad del pronóstico de 24 horas, están localizadas en los centros medios de acción. Esta continuidad se decide a través de discusiones entre el predictor que ha hecho la predicción media de la configuración, precipitación y temperatura, el predictor de 24 horas y el que prepara el pronóstico de cinco días. En estas discusiones se consideran varios métodos de completar las series y los centros de presión, frentes, etc., se escoge a partir de la predicción de 24 horas que se espera completar al cuarto día de pronósticos (mapas superficiales de provisión media). Las predicciones de 48 y 72 horas son de transición entre las cortas (24 horas) y las de largo periodo (96 horas). Al hacer los mapas de transición es necesario a menudo desarrollar nuevas borrascas o eliminar algunas antiguas de acuerdo con la predicción media. Los momentos de ocurrencia, y la elección de sistemas bajo esas circunstancias, son probablemente las etapas más evasivas en la predicción a largo plazo.

Los días quinto y sexto de las series de mapas, se construyen de acuerdo con la predicción media, siguiendo la lógica continuidad del cuarto mapa previo. Las transiciones que se espera ocurran en el estado medio durante la última mitad del periodo se consideran también en el trazado de dichos mapas.

En la construcción de los diversos mapas diarios, las borrascas transitorias son dirigidas de acuerdo con el pronóstico de 700 mb. y los ciclones pueden profundizarse, moverse lentamente, estacionarse, o desarrollarse nuevas ondas, en la región ocupada por el seno medio previsto. Ellas probablemente se han rellenado, movido rápidamente, o en algunos casos han desaparecido en las regiones ocupadas por una cuña media prevista. Lo inverso ocurre para los anticiclones transitorios. Las regiones previstas como fuentes de masas aéreas, los contrastes de gradientes de temperatura, y los asociados caracteres de precipitación, son gobernados por las previsiones de temperatura y anomalías de precipitación. Además hay que considerar las últimas estructuras diarias de las masas aéreas, los campos de espesor (1000-700 mb.) y los cálculos de trayectorias de vorticidad absoluta constante sobre los últimos mapas de 700 mb y 500 mb. En otras palabras, cada técnica disponible de predicción a corto y largo plazo, se emplea en la construcción de los mapas diarios.

Con objeto de ayudar a la previsión de la intensidad más probable de los sistemas y desentender al predictor de los altamente improbables, se han calculado para numerosos puntos del hemisferio Norte, histogramas bimensuales de la frecuencia de distribución de intensidades observadas en ciclones y anticiclones. Estos gráficos se usan como guía en la construcción de las series diarias de mapas. Las posiciones e intensidades de los centros medios previstos de cinco días, en superficie, se comparan con la frecuencia de distribución de los diagramas, y se hacen apropiadas modificaciones en las intensidades normales de los centros diarios para explicar las anomalías en la presión de la predicción media. Por ejemplo, si el pronóstico medio in-

dica presiones inferiores a la normal en un área, las series de mapas diarios mostrarán centros tormentosos más intensos que los indicados por la distribución normal de los gráficos.

Otra confrontación usada en la construcción de estas series de mapas diarios es que, con una razonable tolerancia, el promedio de las presiones en cualquier punto, sobre los mapas diarios del periodo de previsión de cinco días, debe igualar a los valores de pronóstico medio para cinco días al nivel del mar.

5.2.4. Notas sobre el uso de la predicción.

Los siguientes puntos deberán recordarse en el empleo de las series de mapas de cinco días para la predicción a largo plazo:

a) Lo que está mejor reflejado por las series diarias (y también por los mapas medios) son los caminos de los ciclones y anticiclones primarios. Estas informaciones pueden usarse para determinar las regiones optimas con vistas a operaciones militares.

b) Resultados relativamente exactos se alcanzan prediciendo el tipo de actividad, es decir, si los centros de presión serán débiles o intensos, o estarán estacionándose o moviéndose rápidamente. Estos elementos pueden ser de gran valor en el planeamiento de operaciones militares dentro de las áreas afectadas.

c) Las direcciones del viento predominante, indicadas sobre las series de mapas diarios, así como sobre las trayectorias medias, son claramente exactas, y particularmente útiles en predicciones para operaciones aéreas.

d) Las áreas de temperaturas superiores o inferiores a lo normal, pueden deducirse con éxito de esas series. Es preferible, sin embargo, examinar las previsiones de temperatura media para estas informaciones. -- ya que las series diarias son deducidas de acuerdo con las predicciones medias. Argumentos similares se aplican a las previsiones de precipitación total en el periodo.

e) La actividad del "bloqueo", un fenómeno que destruye la circulación normal del Oeste y causa desplazamientos radicales en las trayectorias de las borrascas, porque "retiene" a los ciclones en ciertas áreas, se predice generalmente con clara exactitud, y resulta fácilmente evidente a partir de esa serie.

f) La parte más débil de la serie, aunque más frecuentemente utilizada, es cronometrar los pasos frontales y de otras situaciones dentro del periodo de previsión. No se ha intentado usar las series para estimaciones exactas del tiempo en cualquier instante dado durante el periodo. Además, ya que hasta ahora no se han desarrollado con éxito técnicas para dar detalles exactos del tiempo en que pasan los frentes o las precipitaciones más que con tres días de anticipación, no deberían usarse las series para estos propósitos, e incluso el tercer día debería considerarse con ciertas reservas.

A veces puede parecer, a partir de los últimos mapas observados, que los pronósticos sobre los momentos de actividad de las series de mapas diarios son escasos, aunque el tipo general de actividad haya sido previsto correctamente. En otros casos puede ser evidente que ciertos errores en el mapa previsto de 24 horas (primer mapa) estén siendo arrastrados a lo largo de la serie de mapas previstos, o que los sistemas erróneos fueran escogidos a partir de la predicción a corto plazo para hacer una predicción media correcta. Cuando estos casos se reconocen a partir del último dato, pueden hacerse a menudo ajustes por el predictor a corto plazo, y puede aún deducirse algún valor de las series corregidas de mapas previstos diarios.

Otras veces hay casos en que pueden reconocerse errores básicos en el pronóstico medio a partir de los últimos mapas observados. Los ajustes deben hacerse con extremo cuidado ya que, con las técnicas corrientemente empleadas, es posible para un predictor que está siguiendo aparentemente las tendencias del tiempo de modo erróneo, confirmar la situación real con algún dato posterior. Alguna señal de aviso de que la configuración de la predicción media de 700 mb. necesita ajuste, puede ser el rápido ahondamiento de un área ciclónica diaria, o el estancamiento de una baja fría o sistema frontal en una posición alejada del seno medio previsto (particularmente en la región de cuña prevista, la rápida anticiclogénesis o estancamiento de una alta caliente en la región del seno medio previsto, u otros tipos de actividad diaria que no pueden reconciliarse posiblemente con la previsión media. Una vez que estas condiciones son reconocidas se necesitan mayores ajustes en todas las fases de la predicción a largo plazo.

Los mapas medios y las técnicas discutidas pueden utilizarse también para las predicciones a corto plazo.

El estudio de configuraciones en gran escala y de amplias tendencias en la atmosfera, conducirán a mejorar las predicciones a corto plazo y a interpretar mejor las de largo plazo.

5.2.6. Predicciones de treinta días:

El Weather Bureau ha estado también haciendo predicciones de treinta días, semimensualmente, en los pasa-

dos diez años, usando métodos similares a los de la previsión de cinco días. Los mapas medios empleados -- cubren un periodo de treinta días y sus tendencias sirven para un periodo de diez días. La comprobación de las temperaturas y lluvias previstas indican cierta habilidad en la previsión climatológica, especialmente para las temperaturas previstas.

ERRATAS OBSERVADAS

<u>Página</u>	<u>Línea</u>	<u>D i c e</u>	<u>Debe decir</u>
3	21	dias a día	día a día
6	38	cirvanhomólogas	curvas homólogas
12	4	presistian	persistían
12	16	durante mes	en marzo
21	26	depresoras	trihorarias
24	3	has ahora	hasta ahora

- - - - -